



COMILLAS
UNIVERSIDAD PONTIFICIA

ICAI

GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS
INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE GRADO

**AISLAMIENTO DINÁMICO DE UN MURO
CORTANTE MEDIANTE HORMIGÓN DE ULTRA
ALTO RENDIMIENTO REFORZADO CON FIBRAS**

Autor: Eulalia Escudero Muñoz
Director: Dr. Antonio García y Garmendia

Madrid
Julio de 2019

AUTORIZACIÓN PARA LA DIGITALIZACIÓN, DEPÓSITO Y DIVULGACIÓN EN RED DE PROYECTOS FIN DE GRADO, FIN DE MÁSTER, TESINAS O MEMORIAS DE BACHILLERATO

1º. Declaración de la autoría y acreditación de la misma.

El autor D. Eulalia Escudero Muñoz DECLARA ser el titular de los derechos de propiedad intelectual de la obra: Aislamiento dinámico de un muro cortante mediante hormigón armado de ultra alto rendimiento reforzado con fibras, que ésta es una obra original, y que ostenta la condición de autor en el sentido que otorga la Ley de Propiedad Intelectual.

2º. Objeto y fines de la cesión.

Con el fin de dar la máxima difusión a la obra citada a través del Repositorio institucional de la Universidad, el autor CEDE a la Universidad Pontificia Comillas, de forma gratuita y no exclusiva, por el máximo plazo legal y con ámbito universal, los derechos de digitalización, de archivo, de reproducción, de distribución y de comunicación pública, incluido el derecho de puesta a disposición electrónica, tal y como se describen en la Ley de Propiedad Intelectual. El derecho de transformación se cede a los únicos efectos de lo dispuesto en la letra a) del apartado siguiente.

3º. Condiciones de la cesión y acceso

Sin perjuicio de la titularidad de la obra, que sigue correspondiendo a su autor, la cesión de derechos contemplada en esta licencia habilita para:

- a) Transformarla con el fin de adaptarla a cualquier tecnología que permita incorporarla a internet y hacerla accesible; incorporar metadatos para realizar el registro de la obra e incorporar “marcas de agua” o cualquier otro sistema de seguridad o de protección.
- b) Reproducirla en un soporte digital para su incorporación a una base de datos electrónica, incluyendo el derecho de reproducir y almacenar la obra en servidores, a los efectos de garantizar su seguridad, conservación y preservar el formato.
- c) Comunicarla, por defecto, a través de un archivo institucional abierto, accesible de modo libre y gratuito a través de internet.
- d) Cualquier otra forma de acceso (restringido, embargado, cerrado) deberá solicitarse expresamente y obedecer a causas justificadas.
- e) Asignar por defecto a estos trabajos una licencia Creative Commons.
- f) Asignar por defecto a estos trabajos un HANDLE (URL *persistente*).

4º. Derechos del autor.

El autor, en tanto que titular de una obra tiene derecho a:

- a) Que la Universidad identifique claramente su nombre como autor de la misma
- b) Comunicar y dar publicidad a la obra en la versión que ceda y en otras posteriores a través de cualquier medio.
- c) Solicitar la retirada de la obra del repositorio por causa justificada.
- d) Recibir notificación fehaciente de cualquier reclamación que puedan formular terceras personas en relación con la obra y, en particular, de reclamaciones relativas a los derechos de propiedad intelectual sobre ella.

5º. Deberes del autor.

El autor se compromete a:

- a) Garantizar que el compromiso que adquiere mediante el presente escrito no infringe ningún derecho de terceros, ya sean de propiedad industrial, intelectual o cualquier otro.
- b) Garantizar que el contenido de las obras no atenta contra los derechos al honor, a la

intimidad y a la imagen de terceros.

- c) Asumir toda reclamación o responsabilidad, incluyendo las indemnizaciones por daños, que pudieran ejercitarse contra la Universidad por terceros que vieran infringidos sus derechos e intereses a causa de la cesión.
- d) Asumir la responsabilidad en el caso de que las instituciones fueran condenadas por infracción de derechos derivada de las obras objeto de la cesión.

6º. Fines y funcionamiento del Repositorio Institucional.

La obra se pondrá a disposición de los usuarios para que hagan de ella un uso justo y respetuoso con los derechos del autor, según lo permitido por la legislación aplicable, y con fines de estudio, investigación, o cualquier otro fin lícito. Con dicha finalidad, la Universidad asume los siguientes deberes y se reserva las siguientes facultades:

- La Universidad informará a los usuarios del archivo sobre los usos permitidos, y no garantiza ni asume responsabilidad alguna por otras formas en que los usuarios hagan un uso posterior de las obras no conforme con la legislación vigente. El uso posterior, más allá de la copia privada, requerirá que se cite la fuente y se reconozca la autoría, que no se obtenga beneficio comercial, y que no se realicen obras derivadas.
- La Universidad no revisará el contenido de las obras, que en todo caso permanecerá bajo la responsabilidad exclusiva del autor y no estará obligada a ejercitar acciones legales en nombre del autor en el supuesto de infracciones a derechos de propiedad intelectual derivados del depósito y archivo de las obras. El autor renuncia a cualquier reclamación frente a la Universidad por las formas no ajustadas a la legislación vigente en que los usuarios hagan uso de las obras.
- La Universidad adoptará las medidas necesarias para la preservación de la obra en un futuro.
- La Universidad se reserva la facultad de retirar la obra, previa notificación al autor, en supuestos suficientemente justificados, o en caso de reclamaciones de terceros.

Madrid, a 9 de julio de 2019

ACEPTA

Fdo.

A handwritten signature in black ink, appearing to be a stylized name, possibly 'J. L. ...', written over a horizontal line.

Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título:
Aislamiento dinámico de un muro cortante mediante hormigón de ultra alto
rendimiento reforzado con fibras
en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el
curso académico 2018-2019 es de mi autoría, original e inédito y
no ha sido presentado con anterioridad a otros efectos. El Proyecto no es
plagio de otro, ni total ni parcialmente y la información que ha sido tomada
de otros documentos está debidamente referenciada.

Fdo.: Eulalia Escudero Muñoz. Fecha: 09/07/2019



Autorizada la entrega del proyecto
EL DIRECTOR DEL PROYECTO

Fdo.: Dr. Antonio Garcia y Garmendia. Fecha: 9/ 7/ 2019





COMILLAS

UNIVERSIDAD PONTIFICIA

ICAI

GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS
INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE GRADO

**AISLAMIENTO DINÁMICO DE UN MURO
CORTANTE MEDIANTE HORMIGÓN DE ULTRA
ALTO RENDIMIENTO REFORZADO CON FIBRAS**

Autor: Eulalia Escudero Muñoz
Director: Dr. Antonio García y Garmendia

Madrid
Julio de 2019

AISLAMIENTO DINÁMICO DE UN MURO CORTANTE MEDIANTE HORMIGÓN DE ULTRA ALTO RENDIMIENTO REFORZADO CON FIBRAS

Autor: Escudero Muñoz, Eulalia.

Director: García y Garmendia, Dr. Antonio.

Entidad Colaboradora: ICAI – Universidad Pontificia Comillas.

RESUMEN DEL PROYECTO

Introducción

El territorio peninsular español está situado en el límite de dos placas tectónicas, la placa europea y africana. La localización de España en estas placas es la causa de ser un país con riesgo de actividad sísmica.

Debido a puntuales sacudidas sísmicas y numerosos antecedentes causados por terremotos a lo largo de la historia, España cuenta con la norma de construcción Sismorresistente NC SE-02 puesta en vigencia en el año 2002, cuya normativa ha sido creada teniendo en cuenta el Eurocódigo.

Sin embargo, a pesar de la existencia de esta normativa, muchos de edificios no cumplen dicha normativa y cuentan con escasos parámetros preventivos. Es por ello, que en este proyecto se propone una técnica de reforma de estructuras con el objetivo de evitar daños estructurales ante posibles futuros terremotos.

El fin de el proyecto es adaptar muros cortantes de hormigón armado tradicional recubriéndolos con un hormigón armado de ultra alto rendimiento reforzado con fibras (UHPFRC). Un muro cortante es aquel que permite que las estructuras resistan fuerzas laterales como lo son las generadas por un terremoto. Por lo tanto, la idea de adaptar este tipo de muros conlleva una mejora ante las actividades sísmicas.

El hormigón armado es un material mundialmente empleado en construcción que ante determinadas actividades como los terremotos, no resiste adecuadamente porque entre otras, el acero que contiene se oxida, conllevando a la formación de fisuras que pueden expandirse causando la ruptura completa del elemento. Reponer el elemento es una tarea muy complicada y costosa y es por esta razón que se propone la solución de adaptar el elemento ya existente. Para adaptar un muro cortante de hormigón armado es necesario tener en cuenta tres parámetros esenciales: fuerza, dureza y ductilidad. Por lo tanto, en este proyecto se analizará la mejora ante fuerzas sísmicas de un muro cortante de

hormigón armado recubierto con un caparazón de un material compuesto con fibras y hormigón de ultra alto rendimiento.

Desarrollo

Este documento comienza con el estudio sobre el estado de la técnica, pues sin el conocimiento de lo que ya existe no habría posibilidad de desarrollar una idea inventiva. La búsqueda de las patentes se ha llevado a cabo dentro de la base de datos de la Oficina Europea de Patentes, Espacenet, registradas bajo el código de E04G23. Se analizan cuatro patentes que proponen métodos de rehabilitación para mejorar estructuras débiles que no soportan la fuerza demandada. Sin embargo, los materiales inflamables, los refuerzos a flexión en una sola dirección y los problemas en la adhesión son inconvenientes que presentan las invenciones ya existentes. Por esta razón, se ha tomado la decisión de partir de un recubrimiento hecho de hormigón de ultra alto rendimiento reforzado con fibras, UHPFRC.

A continuación, como el proyecto trata de la rehabilitación de un muro cortante para resistir adecuadamente a los seísmos, se analizan los conceptos esenciales. En primer lugar, se explica lo que es un muro cortante y se analiza el comportamiento de las estructuras ante actividad sísmica. También, se explica que los muros se van a rehabilitar mediante un revestimiento del hormigón. Esta práctica consiste en aumentar las dimensiones físicas del muro cortante mediante el encapsulado de la estructura existente con un revestimiento de hormigón fresco y una armadura fija. Por último, se definen las propiedades y las aplicaciones del material que se va a usar para rehabilitar. Se trata de una mezcla cementosa que está compuesta de los siguientes elementos: cemento, humo de sílice, aditivos reductores de agua de alto rango, arena de cuarzo fina y fibras. Las fibras sirven para que el ECC (compuesto cementoso) tenga una mayor ductilidad permitiendo que el material muestre un comportamiento elástico-plástico o de endurecimiento cuando se encuentra en tensión. En resumen, el material se rompe tras el llamado efecto puente, es decir, permite la formación de múltiples grietas a lo largo de la superficie del hormigón antes de generarse una falla crítica, a diferencia de los concretos tradicionales que fallan con la primera señal de deterioro.

En la siguiente etapa se explica un caso experimental ya existente en el que se estudia los efectos de un terremoto en muros fabricados con distintos materiales. Para ello, se aplica una carga cíclica a cuatro muestras, dos de ellas fabricadas con un material de hormigón de ultra alto rendimiento (UHPC) y las otras dos con este mismo material y un 2% en fibras (UHPFRC). Una vez realizados los ensayos, se realiza un análisis enfocado en los beneficios que puede aportar el material de interés, el UHPFRC, en cuanto a rigidez.

La última etapa de este documento consiste en realizar una simulación con la plataforma ETABS CSI, un software de modelado de elementos finitos capaz de realizar análisis espectrales. La estructura utilizada para el modelo es un edificio de ocho pisos con cuatro muros cortantes, dos en cada dirección. En el análisis se comparan dos estructuras distintas como se puede observar en las Figura 1 y Figura 2. Una es un muro convencional de hormigón armado y la otra es el mismo muro con un revestimiento de 25mm de material UHPFRC. En primer lugar, se realizan dos análisis distintos para comprobar el rendimiento del material: el análisis estático equivalente y el análisis del espectro de respuesta. Sin embargo, como es difícil cuantificar y evaluar adecuadamente cuando hay cambios en las fuerzas de los sistemas, se realiza, además, un análisis para obtener información sobre la fuerza y la capacidad dúctil de los dos sistemas modelados llamado análisis estático no lineal o push-over.

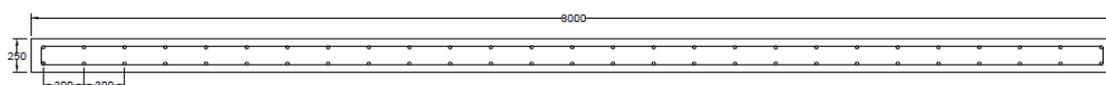


Figura 1. Sección del muro cortante del hormigón armado

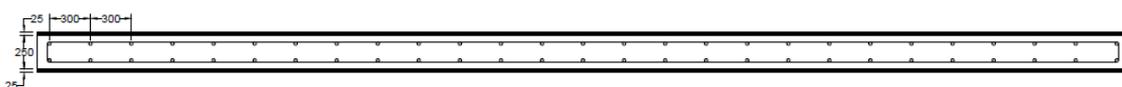


Figura 2. Sección del muro cortante rehabilitado.

Resultados

En este apartado se van a comentar los resultados obtenidos tanto con el caso experimental como con el modelo ETABS.

En cuanto al caso experimental, se observó que en una de las muestras de UHPFRC las grietas se hacen visibles nada más aplicar la carga. La ventaja que se observó frente al material UHPC es que, aunque la densidad de las grietas iba aumentando, el ancho de estas mismas seguía siendo estrecho haciendo que el material resistiera mejor a la carga cíclica. Por otro lado, se obtuvo que la rigidez de los materiales con fibras de acero (UHPFRC) es mayor que la de los materiales sin fibras (UHPC). Para ser más precisos, se obtiene una mejora del 40% para los muros con fibras. En cuanto a la forma de la curva, todos los materiales se comportan de forma similar excepto el UHPC-HS ya que la rigidez disminuye repentinamente debido a su naturaleza frágil analizada en el ensayo.

En cuanto al modelo ETABS, con el análisis estático equivalente y el análisis de espectro de respuesta se obtuvieron resultados sobre el cortante y el momento de vuelco en la base, la deriva y el desplazamiento de cada piso y por último, sobre la rigidez. El cortante y el

momento de vuelco fueron ambos superiores para el material rehabilitado. Además, el hormigón armado se vio sometido a mayor desplazamiento ante carga sísmica en comparación con el material rehabilitado. Respecto a la rigidez, el UHPFRC tiene mayor rigidez que el RC en todos los pisos. Por otro lado, con el análisis push-over tras comparar los resultados con la estructura de hormigón armado, se observa que el UHPFRC resiste más fuerza y se prolonga a un mayor desplazamiento, lo que puede interpretarse como un aumento de la capacidad dúctil y de la disipación de energía del sistema. Además, se observa que las estructuras colapsan en distintos momentos, siendo el UHPFRC la que más tarda.

Conclusiones

El objetivo principal que se persigue en el proyecto es llevar a cabo una técnica, relativamente simple y barata para poder rehabilitar edificios ya existentes. Se trata sobre todo de estructuras que no cumplan con la normativa sismorresistente y por lo tanto de aquellas que no sean suficientemente seguras. El proyecto se ha dividido en tres bloques fundamentales. En primer lugar, se ha realizado un estudio tanto de patentes como de conceptos teóricos ya existentes con el objetivo de entender lo que ya se ha inventado y todos los componentes. En segundo lugar, se ha expuesto un caso experimental ya realizado con el mismo material que se pretende rehabilitar las estructuras con la idea de ver si el material aporta beneficios. Por último, se ha realizado una simulación de un edificio con muros recubiertos de este material.

En cuanto al estudio de patentes se han descubierto las invenciones ya existentes y como se podía realizar una aportación a la técnica. Por otro lado, el estudio de cada una de las componentes ha permitido descubrir la complejidad de una carga sísmica y como afecta en los diferentes tipos de estructuras.

En segundo lugar, los resultados obtenidos en el caso experimental indican que el material de hormigón de ultra alto rendimiento con fibras tiene mejores propiedades ante cargas sísmicas que aquél sin fibras. Se ha concluido que este material aporta rigidez además de una forma de ruptura distinta y más adecuada. En vez de tener un carácter frágil y romperse nada más aparecer una grieta, se rompe tras el llamado efecto puente ya comentado. Por lo tanto, la estructura de UHPFRC tiene más aguante ante cargas cíclicas.

Por último, tras la simulación, se obtuvieron una serie de resultados que fueron representados y analizados y en los que se aprecia una mejora en cuanto a resistencia y rigidez. Para ser precisos, el cortante y el momento de vuelco en la base fueron superiores para el UHPFRC que, para el hormigón armado, la deriva y el

desplazamiento fueron menores para el UHPFRC que para el hormigón armado. Además, la rigidez es mayor para el UHPFRC. Por otro lado, se pudo observar de nuevo que el colapso de la estructura UHPFRC se produce más tarde que la de aquella sin rehabilitar.

A medida que se ha ido realizando el proyecto se ha ido comprobando que los resultados obtenidos tuvieron sentido y fueron coherentes con la realidad.

Por lo tanto, el material UHPFRC no sólo es un material muy apropiado para los terremotos por sus propiedades mecánicas, sino que también sirve y aporta beneficios cuando se combina con otro material. En este caso se ha demostrado al añadir una capa de 25 mm sobre una superficie de hormigón armado.

RETROFIT OF SHEAR WALL BUILDING BY ULTRA HIGH-PERFORMANCE FIBER REINFORCED CONCRETE

Author: Escudero Muñoz, Eulalia.

Director: García y Garmendia, Dr. Antonio.

Collaborating Entity: ICAI – Universidad Pontificia Comillas

ABSTRACT

Introduction

The Spanish territory is located at the boundary of two tectonic plates, the European and African plate. The location of Spain in these plates is the cause of being a country with risk of seismic activity.

Due to occasional seismic shakes and caused by earthquakes throughout history, Spain has the design code NC SE-02 for the seismic resistance, whose regulations have been created taking into account the Eurocode.

Despite the existence of this regulation, many buildings do not comply with this regulation and have few preventive parameters. For this reason, this project proposes a technique for reforming structures with the aim of avoiding structural damage in the event of possible future earthquakes.

The aim of the project is to retrofit shear walls made of traditional reinforced concrete by covering them with Ultra High Performance Fibers Reinforced Concrete (UHPFRC). A shear wall allows structures to resist lateral forces such as those generated by an earthquake. Therefore, the idea of adapting this type of wall leads to an improvement in seismic activities.

Reinforced concrete is a material used worldwide in construction that, in the face of certain activities such as earthquakes, does not resist properly because, among others, the corrosion of the steel leading to the formation of cracks that can expand causing the failure of the element. Replacing the element is a very complicated and expensive task and the solution proposed is to retrofit the existing element. In order to retrofit a reinforced concrete shear wall it is necessary to take into account three essential parameters: strength, stiffness and ductility. Therefore, this project will analyze the

seismic improvement of a reinforced concrete shear wall covered with a shell of the composite material Ultra-High Performance Fibers Reinforced Concrete.

Development

This document starts with the study of the already patented proposed solutions on the subject, because without the knowledge of what already exists it wouldn't be possible to develop an inventive idea. A review of the patents and patent solicitudes published relative has been done within the frame of the European Patent Office database, Espacenet, all of them registered under the code E04G23. Four patents are analyzed, and they propose methods of rehabilitation to improve weak structures that do not withstand the demanded force. However, flammable materials, one-direction bending reinforcements and adhesion problems are disadvantages of the existing inventions. For this reason, this paper presents a concrete jacketing made of Ultra High-Performance Fiber Reinforced Concrete, UHPFRC.

Then, as the project deals with the retrofitting of a shear wall to adequately withstand earthquakes, the essential ideas are analyzed. First, the author explains what a shear wall is and analyzes the behavior of the structures under seismic activities. It is also explained that the walls will be retrofitted with a concrete jacketing. This practice consists of increasing the physical dimensions of the shear wall by encasing the existing structure in a shell fresh concrete and fastened reinforcement. Finally, the properties and applications of the material to be rehabilitated are defined. It is a new type of engineered cementitious composite (ECC) which is composed of four main compounds; cement, silica fume, high-range water-reducing admixtures, fine quartz sand and fibers. The fibers serve to enable the ECC to have an increased ductility by allowing the material to showcase elasto-plastic or strain-hardening behaviour while in tension. In resume, it allows for the formation of multiple cracks along the surface of the concrete before critical failure as opposed to traditional concretes failing at the first sign of distress.

In addition, the author explains an existing case study in which the effects of an earthquake on shear walls made of different materials are studied. For this purpose, a cyclic load is applied to four samples, two of which are made from an ultra-high-performance concrete (UHPC) and the other two with the same material and 2% in fibers (UHPFRC). Once the tests have been carried out, an analysis is made focused on the benefits that the material of interest, the UHPFRC, can provide in terms of stiffness.

In order to evaluate the retrofitting benefits of concrete jacketing using UHPFRC, models were created. The models were created in CSI ETABS, finite element modelling software

capable of performing spectrum analysis. The structure used is an eight-storey building with four shear walls, two in each direction. As it can be seen in Figure 1 and Figure 2, there is a conventional reinforced concrete wall and the same shear wall with a shell of 25mm of UHPFRC material. First of all, two different analyses are performed to check the performance of the material: the equivalent static analysis and the response spectrum analysis. However, as it is difficult to quantify and evaluate properly when there are changes in the applied forces, an analysis is also performed to obtain information on the strength and ductile capacity of the two modeled systems called nonlinear static analysis or push-over.

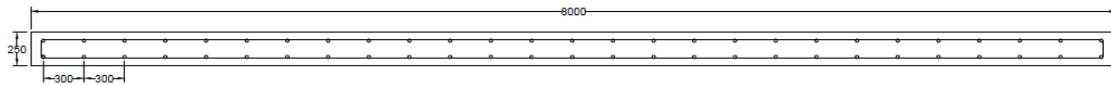


Figure 1. Reinforced Concrete Shear Wall Section

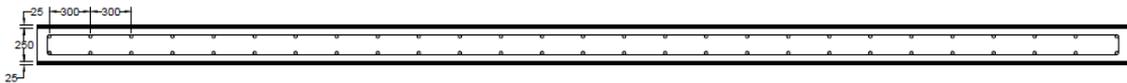


Figure 2. Retrofitted Shear Wall Section

Results

In this section, the results obtained with both the case study and the ETABS model will be discussed.

As for the experimental case, it was observed that in one of the UHPFRC samples the cracks become visible as soon as the load was applied. The advantage compared to the UHPC material is that, although the density of the cracks increased, the width of the cracks remained narrow, making the material more resistant to cyclic loading. On the other hand, it was obtained that the rigidity of the materials with steel fibers (UHPFRC) is greater than that of the materials without fibers (UHPC). To be more precise, a 40% improvement is obtained for walls with fibers. As for the shape of the curve, all materials behave similarly except UHPC-HS as stiffness suddenly decreases due to the brittle nature analyzed in the test.

As for the ETABS model, with the equivalent static analysis and response spectrum analysis, results were obtained on the base shear and base over-turning moment, the drift and displacement of each floor and finally on the stiffness. The base shear and over-

turning moment were both higher for the retrofitted material. In addition, the reinforced concrete was subjected to greater displacement under seismic load compared to the rehabilitated material. With respect to stiffness, UHPFRC has greater rigidity than RC in all floors. On the other hand, with the push-over analysis, when results are compared with the reinforced concrete structure, it can be seen that curve for the UHPFRC indicates that more force is being resisted and prolongs to larger displacement, which can be interpreted as an increase in the ductile capacity and in the energy dissipation of the system. In addition, it is observed that the structures collapse at different times, with the UHPFRC taking the longest.

Conclusions

The main objective of the project is to carry out a relatively simple and inexpensive technique for retrofitting existing buildings. The project has been divided into three fundamental parts. Firstly, a study has been made of both patents and existing theoretical concepts in order to understand what has already been invented and all the components. Secondly, a case study has been presented that has already been carried out with the same material that is intended to retrofit the structures with the idea of seeing if the material provides benefits. Finally, a model of a building with shear walls covered with this material has been carried out.

As for the study of patents, the existing inventions have been discovered and how a contribution could be made to the technique. On the other hand, the study of each of the components has made it possible to discover the complexity of a seismic load and how it affects the different types of structures.

Secondly, the results obtained in the experimental case indicate that the ultra-high-performance concrete material with fibers has better properties against seismic loads than that without fibers. It has been concluded that this material provides rigidity as well as a different and more suitable form of rupture. Instead of having a fragile character and breaking as soon as a crack appears, it breaks after the so-called bridge effect already commented on. Therefore, the structure of UHPFRC is more resistant to cyclic loads.

Finally, after the simulation, a series of results were obtained which were represented and analysed and in which an improvement can be seen in terms of strength and rigidity. To be precise, the shear and tipping moment at the base were higher for UHPFRC than for reinforced concrete, drift and displacement were lower for UHPFRC than for reinforced concrete. In addition, rigidity is higher for UHPFRC. On the other hand, it was again

observed that the collapse of the UHPFRC structure occurs later than the collapse of the unrehabilitated structure.

As the project has been carried out, it has been verified that the results obtained made sense and were coherent with reality.

Therefore, UHPFRC material is not only a very suitable material for earthquakes due to its mechanical properties, but also serves and provides benefits when combined with other material. In this case it has been demonstrated by adding a 25 mm layer on a reinforced concrete surface.

Agradecimientos

Me gustaría agradecer a mi director, Dr. Antonio García y de Garmendia, toda la ayuda y el apoyo que me ha dado durante todo el desarrollo de este proyecto.

Quiero dar las gracias a mi profesor de vibraciones, Emre Erkmen por enseñarme las bases de análisis dinámicos y proponerme proyectos como el presentado a continuación.

No me olvidaré tampoco de dos compañeros de Concordia University, Mazen Daou, sin cuya ayuda no habría podido utilizar el software ETABS Csi, ni de Cody Fournier, quien me proporcionó mucha información necesaria para el desarrollo del proyecto.

Tabla de contenido

1. Introducción y planteamiento del proyecto	1
1.1. Motivación del proyecto	1
1.2. Objetivo del proyecto.....	2
1.3. Metodología y estructura	3
1.4. Conclusión	3
2. Estudio del estado del arte.....	5
2.1. Búsqueda de los distintos métodos de rehabilitación	5
2.2. Análisis global de los métodos más relevantes	8
2.3. Problemas de las patentes	10
2.4. Conclusiones	11
3. Descripción de las tecnologías.....	13
3.1. Muro Cortante	13
3.2. Comportamiento de un muro ante actividad sísmica.....	14
3.3. Rehabilitación de un muro cortante	16
3.4. Propiedades y aplicación del material	19
3.5. Conclusión	22
4. Análisis de un modelo experimental.....	23
4.1. Descripción del modelo experimental.	23
4.2. Resultados obtenidos.....	26
4.2.1. Muestra 1: UHPC-HS.....	27
4.2.2. Muestra 2: UHPFRC-NS.....	27
4.2.3. Muestra 3: UHPC-HS.....	27
4.2.4. Muestra 4: UHPFRC-HS	28
4.3. Beneficios en cuanto a rigidez	29
4.4. Conclusiones	30
5. Descripción del modelo desarrollado.....	31
5.1. Condiciones de contorno.....	31
5.2. Resultados de la simulación	35
5.3. Conclusión	42
6. Estudio económico	43
6.1. Costes del proyecto.....	43
6.1.1. Diseño del proyecto	43
6.1.2. Coste del material	44
6.1.3. Coste de la obra	45

6.1.4.	Conclusión de los costes	45
6.2.	Pagos de un periodo determinado.....	45
7.	Conclusiones	47
7.1.	Conclusiones sobre los resultados	47
7.2.	Recomendaciones para futuros estudios	48
8.	Bibliografía	49
ANEXO A: FICHA TECNICA MATERIAL		51
ANEXO B: INFORME RESUMEN		53

1. Introducción y planteamiento del proyecto

1.1. Motivación del proyecto

A efectos del ser humano, los seísmos generan movimientos bruscos en la superficie terrestre y llevan existiendo desde nuestra presencia en la tierra. Con el crecimiento de la población, la cantidad de edificios y el tamaño de las ciudades aumenta. Los seísmos son un factor esencial que hay que tener en cuenta a la hora de realizar las construcciones con el objetivo de no poner en peligro ninguna vida humana.

Países como México son mundialmente conocidos por tener numerosos antecedentes sísmicos. En México, se producen terremotos de intensas magnitudes, como el terremoto de 1985 con una magnitud de momento de 8.1 Mw¹ que causó numerosas muertes en parte debido al derrumbe de edificios. Por otro lado, a pesar de no ser tan intensos ni frecuentes, cabe mencionar importantes antecedentes en España. El terremoto de Granada en 1884 con una magnitud registrada entre 6.7 y 7 Mw, ocasionó numerosas víctimas y la localidad de Arenas del Rey quedó completamente destruida. Posteriormente, en 2011 se produjo un seísmo menos intenso en Lorca con una intensidad de 5.1 Mw donde se produjeron numerosos daños debido a la antigua edificación del municipio. [1].

Estos antecedentes se deben a que el territorio peninsular español está situado en el límite de dos placas tectónicas, la placa europea y africana. La localización de España en estas placas es la causa de ser un país con riesgo de actividad sísmica, siendo el sur de la península la zona de España con mayor riesgo. [2]

Debido a estas puntuales sacudidas sísmicas y numerosos antecedentes causados por terremotos a lo largo de la historia, España cuenta con la norma de construcción Sismorresistente NC SE-02 puesta en vigencia en el año 2002, cuya normativa ha sido creada teniendo en cuenta el Eurocódigo.

A pesar de la existencia de esta normativa, España cuenta con una importante cantidad de edificios construidos en base a la anterior normativa, la NCSE de 1994 o incluso precedentes. Muchos de los edificios mencionados cuentan con escasos parámetros preventivos. Es por ello, que en este proyecto se propone una técnica de reforma de estructuras con el objetivo de evitar daños estructurales ante posibles futuros terremotos. [3]

¹ Escala logarítmica utilizada para medir la cantidad de energía liberada por un terremoto.

1.2. Objetivo del proyecto

El objetivo principal de este proyecto es asegurar que los edificios puedan resistir a cualquier movimiento sísmico. La idea principal es utilizar una técnica para rehabilitar edificios ya existentes en vez de destruirlos.

Se va a rehabilitar un muro cortante porque es una estructura que sirve para resistir las fuerzas laterales como lo son las generadas por un terremoto. El hormigón armado es un material mundialmente empleado en construcción. Muchos de los muros cortante también se hacen con este material que ante determinadas actividades como los terremotos no resiste adecuadamente porque entre otras, el acero que contiene se oxida, conllevando a la formación de fisuras que pueden expandirse causando la ruptura completa del elemento. Reponer el elemento es una tarea muy complicada y costosa y es por esta razón que se propone la solución de adaptar el elemento ya existente. Para adaptar un muro cortante de hormigón armado es necesario tener en cuenta tres parámetros esenciales: fuerza, dureza y ductilidad. Por lo tanto, en este proyecto se analizará la mejora ante fuerzas sísmicas de un muro cortante de hormigón armado recubierto con un caparazón de un material compuesto con fibras y hormigón de ultra alto rendimiento –también conocido bajo el acrónimo inglés UHPFRC. [4]

Con la rehabilitación se va a permitir que la fuerza axial, flectora y la dureza mejoren. Sin embargo, cabe mencionar que esta técnica puede ser empleada para habilitar otros elementos estructurales como lo es un puente con el objetivo de mejorar su fuerza flectora.

La elección de esta técnica y no otra se debe a la novedad de esta y que plantea muchas ventajas frente a otras técnicas como, por ejemplo, la de los polímeros reforzados con fibras ya empleada para recubrir muros que tienen el inconveniente de ser inflamables.

La contribución de la técnica de este proyecto se vera reflejada con una simulación realizada mediante el programa ETABS que consistirá en hacer un análisis del comportamiento de un muro cortante ante un movimiento sísmico.

1.3. Metodología y estructura

La metodología que se va a aplicar es la siguiente:

En primer lugar, se realiza un estudio de la totalidad de las patentes relativas a técnicas empleadas para mejorar la rigidez, dureza y ductilidad de estructuras –que corresponden al código E04G23/00 de la Clasificación Internacional. Una vez encontradas estas patentes, se busca detectar los posibles campos de mejora en los materiales utilizados para rehabilitar estructuras y hacer una posterior aportación. La base de datos empleada es la plataforma Espacenet. [5]

La segunda parte del proyecto consiste en la descripción y estudio de todos los elementos que influyen en la rehabilitación de un muro. Desde la descripción de cada uno de los componentes hasta como se comporta un muro ante una actividad sísmica. Se utiliza Excel para poder describir los distintos comportamientos.

A continuación, se presenta un caso experimental ya existente muy similar a lo que se propone en el proyecto con el objetivo de analizar las mejoras y poder llevar a cabo el proyecto con los menores defectos posibles.

Una vez analizado el caso experimental se crea una simulación con ETABS en el que se compara el comportamiento de un muro cortante de hormigón armado frente a este mismo muro recubierto por UHPFRC. A continuación, se analizan los resultados obtenidos mediante la herramienta ETABS enfocando los resultados en la mejora de las distintas propiedades mecánicas, prestando especial atención a la rigidez del nuevo muro. Muchos de los resultados se representan en gráficos mediante la herramienta Excel.

En la última etapa se hará un análisis económico con el objetivo de ver que costes y pagos supone la rehabilitación de un edificio.

En la conclusión, se comentará si la técnica utilizada es eficaz.

1.4. Conclusión

En este capítulo introductorio se ha analizado la motivación y los objetivos del presente proyecto, así como la metodología y estructura empleada. El siguiente capítulo va a estar enfocado al estado de la técnica en el que se analizan las distintas patentes relacionadas con la técnica que se desea aplicar.

2. Estudio del estado del arte

En el anterior capítulo se ha introducido el presente proyecto. En este capítulo, se exponen las patentes más relevantes relacionadas con la técnica utilizada para recubrir los muros cortantes. En primer lugar, se explica cómo se han encontrado dichas patentes, a continuación, se analiza cada una de ellas individualmente para así posteriormente, poder explicar los inconvenientes que presentan.

2.1. Búsqueda de los distintos métodos de rehabilitación

La búsqueda de las patentes se ha hecho mediante la Oficina Europea de Patentes—conocida bajo el acrónimo inglés EPO [6]. Para encontrar las patentes deseadas se ha realizado una búsqueda mediante clasificación, es decir, se han ido seleccionando temas de mas a menos generales hasta llegar a un tema lo suficientemente concreto donde se pueden ver las patentes existentes.

La primera selección ha consistido en la elección de la rama de la que se quiere hablar, en este caso es construcciones fijas, como se puede observar en la siguiente figura.

Classification and description		Symbol
HUMAN NECESSITIES		A <input type="checkbox"/>
PERFORMING OPERATIONS; TRANSPORTING		B <input type="checkbox"/>
CHEMISTRY; METALLURGY		C <input type="checkbox"/>
TEXTILES; PAPER		D <input type="checkbox"/>
FIXED CONSTRUCTIONS		E <input checked="" type="checkbox"/>
MECHANICAL ENGINEERING; LIGHTING; HEATING; WEAPONS; BLASTING		F <input type="checkbox"/>
PHYSICS		G <input type="checkbox"/>
ELECTRICITY		H <input type="checkbox"/>
GENERAL TAGGING OF NEW TECHNOLOGICAL DEVELOPMENTS; GENERAL TAGGING OF CROSS-SECTIONAL TECHNOLOGIES SPANNING OVER SEVERAL SECTIONS OF THE IPC; TECHNICAL SUBJECTS COVERED BY FORMER USPC CROSS-REFERENCE ART COLLECTIONS [XRACs] AND DIGESTS		Y <input type="checkbox"/>

Figura 3. Primera clasificación EPO. [6]. Fuente: Espacenet, 2019

En la siguiente fase, se ha elegido el tipo de construcción del que se quiere hablar, en este caso, edificios como se observa en la Figura 4 siendo las siglas seleccionadas hasta el momento E04.

FIXED CONSTRUCTIONS	S	E	<input checked="" type="checkbox"/>
BUILDING			
CONSTRUCTION OF ROADS, RAILWAYS, OR BRIDGES		E01	<input type="checkbox"/>
HYDRAULIC ENGINEERING; FOUNDATIONS; SOIL SHIFTING		E02	<input type="checkbox"/>
WATER SUPPLY; SEWERAGE		E03	<input type="checkbox"/>
BUILDING		E04	<input checked="" type="checkbox"/>
LOCKS; KEYS; WINDOW OR DOOR FITTINGS; SAFES	i	E05	<input type="checkbox"/>
DOORS, WINDOWS, SHUTTERS, OR ROLLER BLINDS IN GENERAL; LADDERS		E06	<input type="checkbox"/>
EARTH DRILLING; MINING			
EARTH DRILLING; MINING		E21	<input type="checkbox"/>
SUBJECT MATTER NOT OTHERWISE PROVIDED FOR IN THIS SECTION			
		E99	<input type="checkbox"/>

Figura 4. Segunda clasificación según la EPO. [6] Fuente: Espacenet, 2019

Siendo bastante ambigua la siguiente elección, se continua por la rama que engloba la reparación de edificios. Como se puede observar en la Figura 5 la sigla se corresponde con una letra G.

Classification and description	Symbol
FIXED CONSTRUCTIONS	S E <input checked="" type="checkbox"/>
BUILDING	
BUILDING	E04 <input checked="" type="checkbox"/>
GENERAL BUILDING CONSTRUCTIONS; WALLS, e.g. PARTITIONS; ROOFS; FLOORS; CEILINGS; INSULATION OR OTHER PROTECTION OF BUILDINGS (border constructions of opening in walls, floors or ceilings E06B 1/00; {electromagnetic shielding H05K 9/0001})	S D i ↓ E04B <input checked="" type="checkbox"/>
STRUCTURAL ELEMENTS; BUILDING MATERIALS (for bridges E01D; specially designed for insulation or other protection E04B; elements used as building aids E04G; for mining E21; for tunnels E21D; structural elements with broader range of application than for building engineering F16, particularly F16S)	S D ↓ E04C <input checked="" type="checkbox"/>
ROOF COVERINGS; SKY-LIGHTS; GUTTERS; ROOF-WORKING TOOLS (coverings of outer walls by plaster or other porous material E04F 13/00)	S D i ↓ E04D <input checked="" type="checkbox"/>
FINISHING WORK ON BUILDINGS, e.g. STAIRS, FLOORS (windows, doors E06B)	S D ↓ E04F <input checked="" type="checkbox"/>
SCAFFOLDING; FORMS; SHUTTERING; BUILDING IMPLEMENTS OR OTHER BUILDING AIDS, OR THEIR USE; HANDLING BUILDING MATERIALS ON THE SITE; REPAIRING, BREAKING-UP OR OTHER WORK ON EXISTING BUILDINGS	S D i ↓ E04G <input checked="" type="checkbox"/>
BUILDINGS OR LIKE STRUCTURES FOR PARTICULAR PURPOSES; SWIMMING OR SPLASH BATHS OR POOLS; MASTS; FENCING; TENTS OR CANOPIES, IN GENERAL (foundations E02D)	S D i ↓ E04H <input checked="" type="checkbox"/>

Figura 5. Tercera clasificación según la EPO. [6]. Fuente: Espacenet, 2019

En la siguiente fase de clasificación, se presentan casos mucho más concretos en el que se ha elegido el número 23 que según la Figura 6 consiste en medidas de rehabilitación de edificios ya existentes.

Classification and description	Symbol
FIXED CONSTRUCTIONS	E <input checked="" type="checkbox"/>
BUILDING	
BUILDING	E04 <input checked="" type="checkbox"/>
SCAFFOLDING; FORMS; SHUTTERING; BUILDING IMPLEMENTS OR OTHER BUILDING AIDS, OR THEIR USE; HANDLING BUILDING MATERIALS ON THE SITE; REPAIRING, BREAKING-UP OR OTHER WORK ON EXISTING BUILDINGS	E04G <input checked="" type="checkbox"/>
Workmen's or safety scaffolds	
▼ Scaffolds primarily resting on the ground	E04G 1/00 <input checked="" type="checkbox"/>
▼ Scaffolds essentially supported by building constructions, e.g. adjustable in height (E04G 1/00 takes precedence (and E04G 21/3204 takes precedence))	E04G 3/00 <input checked="" type="checkbox"/>
▼ Component parts or accessories for scaffolds (connections E04G 7/00)	E04G 5/00 <input checked="" type="checkbox"/>
▼ Connections between parts of the scaffold (for building structures in general E04B 1/38; connections in general F16B {}; connection for tubes or rods in general F16B 7/00)	E04G 7/00 <input checked="" type="checkbox"/>
Falsework, forms, or shutterings for shaping of building parts in situ (scaffolding in general E04G 1/00; moulds for making units for prefabricated buildings or prefabricated stair units B28B 7/22; forms or shutterings of the construction E04B, E04C)	
▼ Forming or shuttering elements for general use ((for prefabrication of concrete elements in a plant B28B 7/00))	E04G 9/00 <input checked="" type="checkbox"/>
▼ Forms, shutterings, or falsework for making walls, floors, ceilings, or roofs ((for prefabrication of concrete elements in a plant B28B 7/00))	E04G 11/00 <input checked="" type="checkbox"/>
▼ Falsework, forms, or shutterings for particular parts of buildings, e.g. stairs, steps, cornices, balconies (foundations, sills (E04G 11/365 takes precedence; flat foundations, e.g. with lost forms E02D 27/01; removable forms or shutterings for road-building purposes E01C 19/50))	E04G 13/00 <input checked="" type="checkbox"/>
▼ Forms or shutterings for making openings, cavities, slits, or channels (forming part of shuttering for walls E04G 11/06 {, e.g. double walls E04G 11/18; prefabricated elements with elements wholly or partly embedded therein B28B 23/00; core or mandrels for the prefabrication of concrete elements B28B 7/28))	E04G 15/00 <input checked="" type="checkbox"/>
▼ Connecting or other auxiliary members for forms, falsework structures, or shutterings	E04G 17/00 <input checked="" type="checkbox"/>
▼ Auxiliary treatment of forms, e.g. dismantling; Cleaning devices (lubricating compositions C10M)	E04G 19/00 <input checked="" type="checkbox"/>
▼ Preparing, conveying, or working-up building materials or building elements in situ; Other devices or measures for constructional work (conveying in general B65G; lifting devices B66; working stone-like materials B28D; measuring instruments G01)	E04G 21/00 <input checked="" type="checkbox"/>
▼ Working measures on existing buildings, ((domestic cleaning of walls or floors A47L 11/00; grinding floors or walls B24B 7/18; removing of wall coverings B44C 7/00; removing of paint from surfaces B44D 3/16; electrochemical desalination or re-alkalisation C04B 41/00); on foundations E02D 35/00, E02D 37/00; in connection with insulations E04B; subsequent or finishing work E04F)	E04G 23/00 <input checked="" type="checkbox"/>
▼ Shores or struts (specially designed for use in mines E21D 15/00 {; E04G 21/26, E04G 23/04 take precedence)); Chocks	E04G 25/00 <input checked="" type="checkbox"/>
▼ Temporary arrangements for giving access from one level to another for men or vehicles, e.g. steps, ramps (for scaffolds E04G 5/10; gangways B63; lifts B66)	E04G 27/00 <input checked="" type="checkbox"/>

Figura 6. Cuarta clasificación según la EPO. [6]. Fuente: Espacenet, 2019

La clasificación final de las patentes a analizar sigue la serie numérica E04G23. Se explicarán las patentes que se consideren oportunas par el tema tratado en el siguiente epígrafe.

2.2. Análisis global de los métodos más relevantes

Se van a explicar cuatro de las patentes que siguen el código explicado en el epígrafe anterior ya que son consideradas las más relevantes. Las dos primeras invenciones proponen métodos para reforzar una estructura, mientras que las dos segundas patentes describen dos diferentes materiales para lograr el refuerzo de dicha estructura.

La patente US5894003A analiza un método para reforzar estructuras de hormigón armado ya existentes. La invención consiste en añadir varillas de un material compuesto en la dirección en la que se produce la flexión y en las posiciones en las que la fuerza axial es inadecuada.

En la Figura 7 se puede observar con mayor detalle la invención. En primer lugar, se puede observar el tradicional hormigón armado, compuesto por una sección de hormigón reforzado con varillas de acero (16 y 17). Por otro lado, se observan las cavidades (22) realizadas en la zona superior e inferior de la sección donde se ha introducido unas varillas (25) de un material no metálico y compuesto con fibras de vidrio o carbono. Para asegurar que dichas varillas queden fijas con el resto de la estructura se rellena la cavidad con un material adhesivo como, por ejemplo, una resina epoxi (28). La ventaja de esta invención es que no es necesario preparar la superficie del material ya existente para añadir una nueva capa. [7]

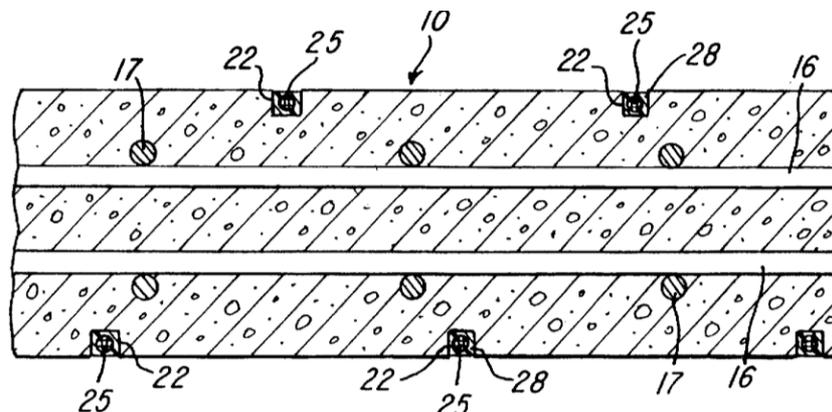


Figura 7. Sección mostrando los elementos de la invención. [7]. Fuente: Lockwood, 1999

Otra invención que propone un método para reparar estructuras es aquella descrita en la patente EP 1083274 A1. La invención propone un método para reforzar estructuras con una lámina de fibras con hasta un 15% del peso o menos de resina.

Esta lámina se pega a la estructura con una resina con viscosidad entre 0.25 y 30 Pa.s y un tiempo de curación corto, entre 1 y 24 horas. [8]

La patente KR101878425 explica como habilitar estructuras utilizando paneles de polímeros reforzados con fibras –conocido bajo el acrónimo inglés FRP. A esta técnica utilizada, con el objetivo de resistir ante incendios, se le añade un recubrimiento. La invención consiste en la superposición de capas como se muestra en la Figura 8. Al material original (6) se le añade una capa adhesiva (4) seguido de la placa de polímero reforzado con fibras (2). Por último, se encuentra el recubrimiento ignífugo (5).

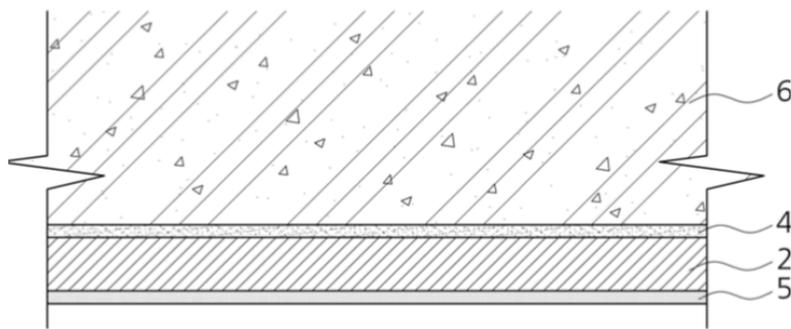


Figura 8. Sección mostrando las capas de la invención. [9]. Fuente: Google patents, 2018

Por otro lado, la patente KR101829424 trata del acondicionamiento de estructuras con hormigón de ultra-alto rendimiento – conocido bajo el acrónimo inglés UHPC, con una mezcla de fibras. Se comentan también los beneficios que este material puede aportar ante actividades sísmicas como por ejemplo la capacidad de resistir a la formación de grietas.

Se trata de reforzar una losa ya existente construida de hormigón armado con una capa en su superficie. La capa incluye los siguientes elementos mostrados en la Figura 9: un refuerzo textil en la superficie del ya existente hormigón armado con el objetivo de separar los dos materiales (31), hormigón de ultra alto rendimiento (UHPC- 32) y fibras introducidas dentro del UHPC (33).

Se explica también el método de construcción y consiste en cuatro etapas principales: tratar la antigua superficie de hormigón armado para poder habilitar la estructura, instalar el tejido mencionado para obtener la separación entre el antiguo hormigón armado y el material que se va a reforzar la estructura, añadir el material UHPC y por último endurecer.

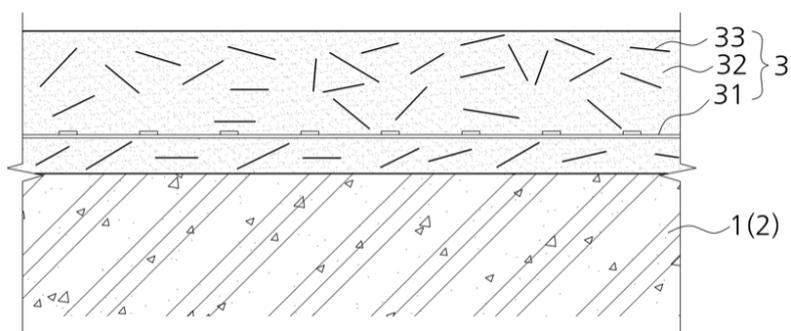


Figura 9. Sección mostrando las capas de la invención [10]. Fuente: Google Patents, 2018

2.3. Problemas de las patentes

A continuación, se van a explicar los inconvenientes que presentan cada una de las invenciones con el objetivo de poder realizar una aportación a la técnica.

En primer lugar, la invención de la patente US5894003A presenta el inconveniente de que solo se obtiene un refuerzo a flexión en una sola dirección. Sin embargo, si se quiere que un muro resista ante actividades sísmicas, no se puede asegurar la dirección de la flexión. Los terremotos causan flexiones en distintas direcciones y puede tener dirección diagonal.

La segunda invención descrita en la patente EP 1083274 A1 presenta el problema de la adhesión entre la capa y el hormigón armado. Al tratarse de una resina tan concreta y exigir un tiempo de curación corto con bajas temperaturas y altas humedades es posible que no se produzca el efecto deseado y no se pueda reforzar la estructura todo lo que se quiere.

La tercera invención descrita en la patente KR101878425 utiliza materiales muy poco resistentes al fuego lo que no interesa pues el objetivo principal del proyecto es no poner en peligro la vida humana. Además, la adhesión del FRP con el hormigón armado es complicada.

El último inconveniente que cabe destacar es que la resina epoxi es un elemento utilizado en las tres primeras invenciones y es dañino para el ser humano. Siendo posible evitar su uso, como es en el caso de la invención propuesta, se va a evitar.

La última invención definida en la patente KR101829424 va a ser la base para la aportación de la técnica porque es la que menos inconvenientes tiene en relación con el objetivo buscado.

2.4. Conclusiones

Todas las invenciones descritas y resumidas en la Tabla 1 son distintos métodos de rehabilitar estructuras existentes con el objetivo de mejorar sus propiedades mecánicas. Todas ellas cumplen con el objetivo buscado en este proyecto. Sin embargo, debido a los distintos inconvenientes mencionados en el epígrafe anterior se ha tomado la decisión de partir de un recubrimiento hecho con hormigón de ultra alto rendimiento reforzado con fibras, UHPFRC.

Nº Patente	Fecha Publicación	Inventor	Problema	Solución
US5894003 (A)	13-4-1999	William D. Lockwood	Estructura débil que no soporta la fuerza demandada	Método de rehabilitación de la estructura mediante la introducción de unas varillas de material compuesto en la superficie de la estructura.
WO 99/61725	14-3-2001	Masahiro Sugimori y Tomoo Sano	Estructura débil que no soporta la fuerza demandada	Método de rehabilitación de la estructura con una lámina de material compuesto adherido a la estructura con una resina concreta.
KR101878425	13-7-2018	안태상 y 황정현	Estructura débil que no soporta la fuerza demandada	Rehabilitación de la estructura mediante un polímero reforzado con fibras (FRP).
KR101829424	14-2-2018	홍성걸, 엄현수, 최유진 y 이선근	Estructura débil que no soporta la fuerza demandada	Rehabilitación de la estructura mediante hormigón de ultra alto rendimiento (UHPC) reforzado con fibras.

Tabla 1. Resumen de las patentes descritas. Fuente: Elaboración propia, 2019

En este capítulo, se ha explicado los métodos ya patentados con el objetivo de explicar lo que ya existe para poder hacer una aportación a la técnica. En el siguiente capítulo, se analizará cada uno de los elementos influyentes a la propuesta, así como el comportamiento de una estructura ante actividades sísmicas.

3. Descripción de las tecnologías

En el capítulo anterior, se ha explicado las diferentes invenciones ya existentes relacionados con este proyecto. A continuación, como el proyecto trata de la rehabilitación de un muro cortante para resistir adecuadamente a los seísmos, se van a analizar los conceptos esenciales. En primer lugar, se explica lo que es un muro cortante y se analiza el comportamiento de las estructuras ante actividad sísmica. También, se explica como se van a rehabilitar los muros y, por último, se definirán las propiedades y las aplicaciones del material que se va a usar para rehabilitar (UHPFRC).

3.1. Muro Cortante

El muro cortante es un tipo de estructura vertical diseñado para resistir fuerzas laterales como, por ejemplo, el viento y los seísmos. Los muros cortantes empiezan en el cimiento y son continuos hasta el final del edificio. Este tipo de estructura es especialmente importante en edificios con mucha altura o en zonas con mucho viento o riesgo sísmico. Los muros cortantes pueden tener dos posiciones distintas –o bien, estar situados a lo largo del perímetro del edificio, o bien, en el núcleo. Este proyecto se va a centrar en aquellos muros situados en el exterior de la estructura. Estos muros no solo son capaces de resistir a fuerzas laterales, sino que también tiene una buena resistencia ante los momentos flectores que hacen que los edificios vuelquen.

Los muros cortantes tienen dos funciones principales. En primer lugar, tienen que proveer la fuerza lateral suficiente para que el edificio resista las fuerzas horizontales que un terremoto puede causar y transferirlas a los cimientos. En segundo lugar, es necesario que aporte una suficiente rigidez al edificio. Con la rigidez aportada por el muro cortante se logra que el edificio reduzca el pandeo y por lo tanto se convierta en una estructura más resistente. [11]

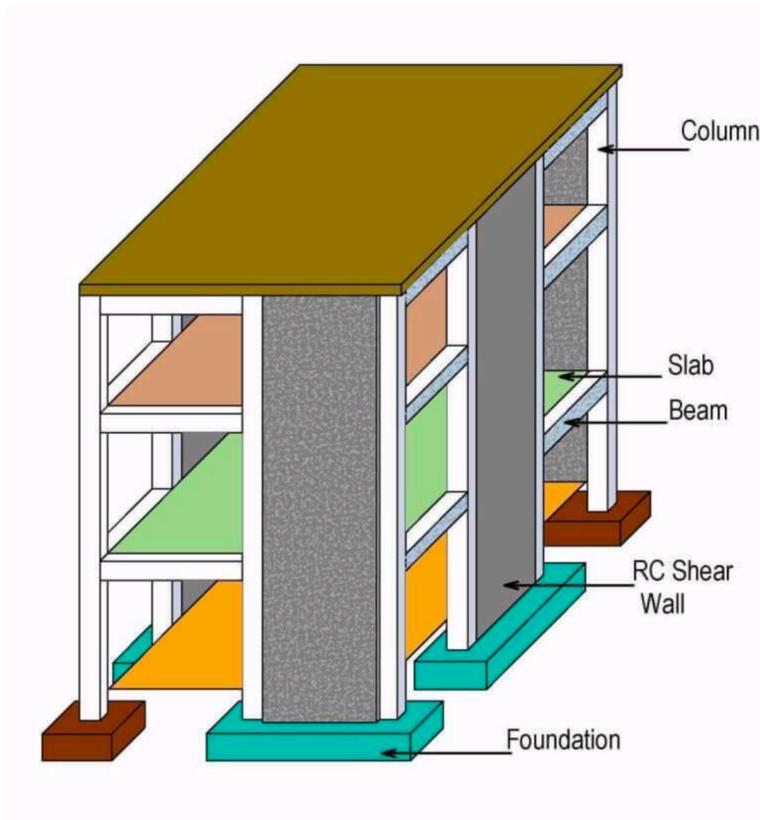


Figura 10. Representación de un muro cortante y de otros elementos estructurales [11]. Fuente: Engineering discoveries, hallado 2019.

Por último, cabe mencionar la clasificación de los muros según su geometría ya que la geometría influye en el modo de ruptura de los muros. Para clasificar estos muros se utiliza el ratio geométrico, altura entre anchura. Aquellos con un ratio superior a dos, son muros esbeltos con un comportamiento dominante de flexión. Por otro lado, los muros con un ratio menor a dos son los muros más bajos y anchos que muestran un comportamiento dominante en cuanto a fuerzas cortantes. [12]

3.2. Comportamiento de un muro ante actividad sísmica

Las fuerzas sísmicas que experimenta un edificio son el resultado de los movimientos del suelo (aceleraciones). Al ser un terremoto, invierten la dirección de los movimientos de forma caótica. La magnitud de una fuerza sísmica depende de varios factores: la magnitud de un terremoto, la distancia de la fuente del terremoto (epicentro), las condiciones locales del suelo que pueden amplificar el temblor del suelo (o amortiguarlo), el peso (o masa) de la estructura, y el tipo de sistema estructural y su capacidad para soportar cargas cíclicas abusivas.

La fuerza lateral que experimenta un edificio sigue la segunda ley del movimiento de Newton: $F = m \times a$. Donde 'F' representa la fuerza, 'm' representa la masa, y 'a' la aceleración. A medida que el suelo se acelera de un lado a otro durante un terremoto, se transmiten fuerzas cíclicas a un edificio a través de sus cimientos, que se acaban moviendo con el suelo. [13]

Se dispone de varios métodos para analizar el comportamiento de un edificio ante terremotos. Entre ellos, se van a explicar el análisis estático equivalente y el análisis dinámico con espectro de respuesta porque son los dos tipos de análisis utilizados en la simulación.

El análisis estático equivalente es el más sencillo, ya que requiere menos esfuerzo de cálculo. En este tipo de análisis, se asume que los efectos del terremoto se pueden representar mediante un conjunto de fuerzas horizontales actuando en cada nivel. Se trata por lo tanto de un sistema discreto con masas concentradas que incluyen el peso de las columnas y las paredes de cada piso. Se asume que el comportamiento puede ser inelástico. El sistema de masas agrupadas se reduce a la solución de un sistema de ecuaciones diferenciales de segundo orden. Estas ecuaciones están formadas por la distribución tanto de la masa como de la rigidez en una estructura, junto con sus características de amortiguación del movimiento del suelo.

El análisis del espectro de respuesta es otro método muy popular para analizar el comportamiento de estructuras ante movimientos sísmicos. Este análisis se basa en el análisis de la respuesta ante curvas espectrales. Consiste en calcular los valores máximos de cada modo y combinar los resultados utilizando el método de superposición de modos. El espectro de entrada puede estar basado en terremotos anteriores y suele tener en el eje de abscisas el periodo y en el de ordenadas el de la aceleración espectral. También, suele estar compuesto por numerosas curvas asociadas distintos niveles de amortiguamiento como se puede observar en la Figura 11.

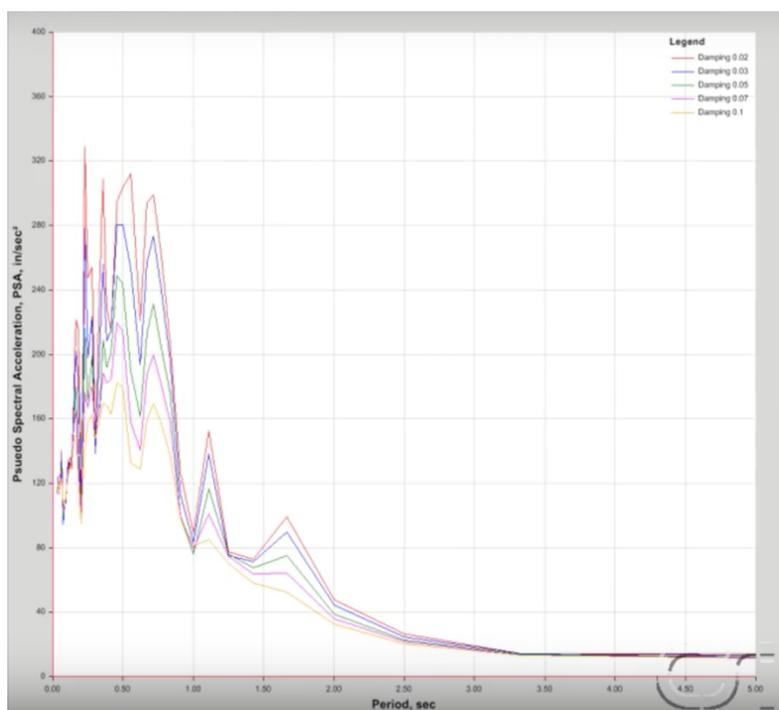


Figura 11. Ejemplo de una curva espectral. Fuente: Computers and Structures, Inc, 2016.

3.3. Rehabilitación de un muro cortante

Un muro cortante de hormigón armado –llamado RC en inglés, puede ser víctima de una de las dos siguientes actividades: artesanía inadecuada o actividades perjudiciales. Los defectos causados por las artesanías inadecuadas suelen aparecer en las primeras etapas de la construcción (consolidación insuficiente, eflorescencia, alveolado...). El otro aspecto, las actividades perjudiciales, dependen del entorno al que está expuesta una pared cortante. Según el PH, la temperatura, el contenido de humedad, etc., puede haber muchos factores que pueden llevar a problemas relacionados con la capacidad de un elemento o de una estructura. Una posible consecuencia de este tipo de actividades es la pérdida de masa y rigidez, pudiendo causar que la estructura no cumpla con las capacidades esperadas.

Hay varios tipos de actividades perjudiciales que pueden amenazar la integridad de los elementos del hormigón armado en una estructura. La Figura 12 muestra los efectos negativos de la corrosión en el hormigón, este gráfico puede ser aplicado a casi todos los tipos de actividades que dañan el hormigón. Hay un período en el que la estructura está en buenas condiciones, después una vez haya empezado a

deteriorarse aparecerán una serie de grietas antes de que el material se rompa por completo.

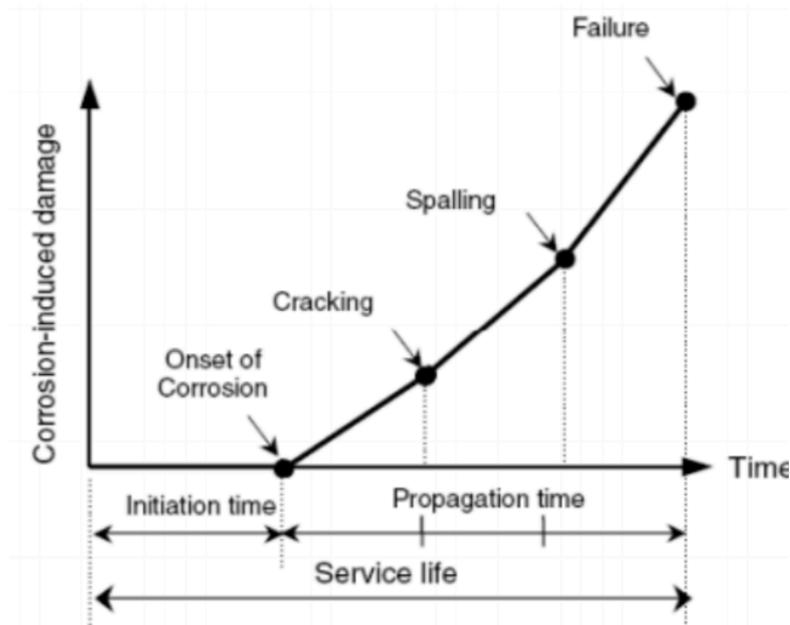


Figura 12. Representación de las distintas etapas de deterioro del hormigón armado. [14]. Fuente: Ghodoosi, 2018

Las secciones dañadas deben ser reemplazadas para asegurar la integridad de la estructura. La opción más costosa, compleja y lenta sería reconstruir todo el elemento y reemplazarlo. Sin embargo, esta no es una solución práctica. El enfoque más lógico y realista sería adaptar la sección dañada. Una sección readaptada es generalmente una alternativa más rentable.

Según K. Galal & al., existen varios factores que deben tenerse en cuenta antes de seleccionar la técnica de rehabilitación que se aplicará a un sistema de hormigón armado [14].

1. Deficiencias en el muro cortante existente y su fallo de modo esperado
2. La finalidad de la rehabilitación (aumento de la rigidez, ductilidad, resistencia, etc.)
3. Consecuencias de la rehabilitación (masa adicional)
4. Presupuesto
5. Restricciones físicas (estética, accesibilidad, etc.)

Respetando los factores mencionados se obtendrá una mejora en el muro cortante como muestra la Figura 13. Hay tres parámetros esenciales que deben ser evaluados durante la rehabilitación de dicho muro: resistencia, ductilidad y rigidez.

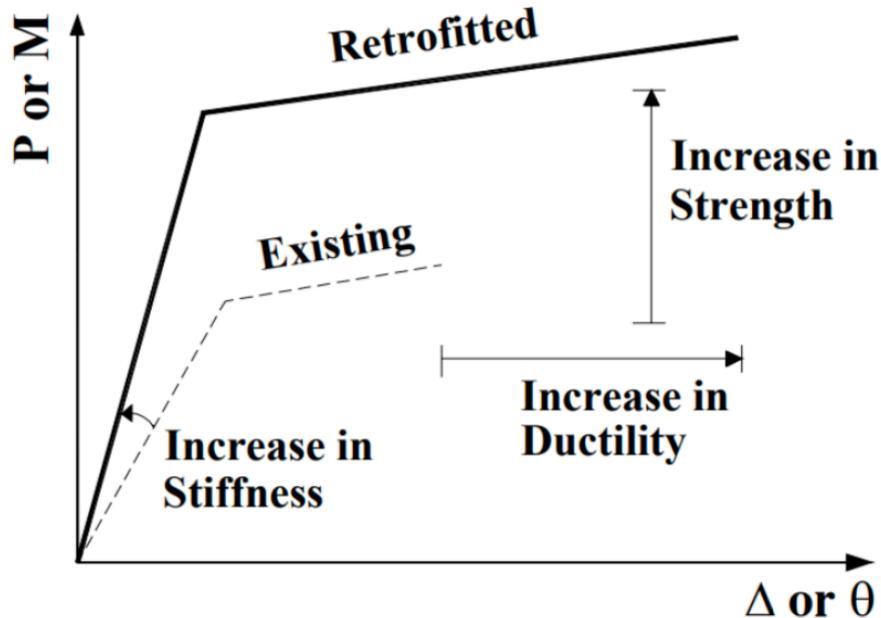


Figura 13. Representación de la mejora de un muro cortante rehabilitado [14]. Fuente: Ghodoosi, 2018

La rigidez es la propiedad de un cuerpo, elemento o estructura de oponerse a las deformaciones. También podría definirse como la capacidad de soportar cargas o tensiones sin deformarse o desplazarse excesivamente. Incrementar la rigidez en un muro cortante permite limitar las deformaciones cuando se expone a una carga. Pero a su vez, es importante no tener una rigidez demasiado elevada pues las estructuras requieren de cierta flexibilidad para que el muro no se rompa. La rigidez se calcula con el cociente de la fuerza aplicada entre el desplazamiento obtenido tras la aplicación de dicha fuerza.

La ductilidad se refiere a la capacidad de un material para desviarse y ser lo suficientemente resistente como para volver a su disposición original sin romperse. Cuando se diseña para resistir cargas laterales, es deseable aumentar la ductilidad de una estructura. Sin embargo, los grandes desplazamientos laterales podrían ser la consecuencia de tener una estructura altamente dúctil (suponiendo que la rigidez sea insignificante).

La resistencia es la capacidad de un cuerpo, elemento o estructura de soportar cargas sin colapsar.

Una de las técnicas que se utilizan para la rehabilitación de muros cortantes es el revestimiento del hormigón. Esta práctica consiste en aumentar las dimensiones físicas del muro cortante mediante el encapsulado de la estructura existente con un revestimiento de hormigón fresco y una armadura fija. Para aplicar el hormigón nuevo, se debe descargar el muro cortante y retirar el hormigón dañado. El encofrado debe colocarse alrededor del muro para reparar la sección y hermetizarlo. El hormigón se coloca dentro del encofrado y se deja curar. Una vez que el hormigón ha alcanzado una resistencia específica, se puede volver a cargar el muro.

La adición de un revestimiento de material compuesto cementoso sirve para aumentar la resistencia axial, la resistencia a la flexión y la rigidez del elemento. Esta técnica sólo tiene éxito si la armadura existente es adecuada o si se coloca una nueva armadura para ayudar a hacer frente a las fuerzas de tracción. Sin embargo, existe una nueva práctica en la que se coloca hormigón armado con fibras de alto rendimiento en el encofrado y el requisito de barras de refuerzo adicionales ya no es obligatorio. El propósito de utilizar una mezcla cementosa infundida con fibras de acero es aumentar la resistencia a la tracción de los materiales que se encuentran en su interior. Esto esencialmente envuelve el muro cortante y ayuda a contener las tensiones internas generadas cuando la estructura está expuesta a cargas que son perjudiciales en la rehabilitación. La capacidad de aumentar la resistencia a la tracción del hormigón sin armadura es un beneficio práctico para las metodologías de construcción y puede ahorrar costes de mano de obra.

3.4. Propiedades y aplicación del material

Un material a base de cemento en ingeniería –llamado ECC en inglés, es una mezcla de hormigón capaz de proporcionar una alta resistencia a la compresión y una resistencia moderada a la tracción. Los hormigones típicos, tienden a ser frágiles la alta demanda a resistencia a la compresión. La fragilidad se vuelve más problemática cuando se introducen altas concentraciones de tensión en el hormigón. La creación de un material a base de hormigón capaz de aumentar simultáneamente la ductilidad se convierte en una necesidad.

Los hormigones reforzados con fibra de ultra alto rendimiento (UHPFRC) son un nuevo tipo de ECC. El UHPFRC es un compuesto cementoso que está compuesto de los siguientes elementos: cemento, humo de sílice, aditivos reductores de agua

de alto rango, arena de cuarzo fina y fibras. Este tipo de ECC utiliza un empaquetamiento de partículas eficiente que ayuda a la homogeneidad de la mezcla (Anexo A). Lograr una homogeneidad optimizada permite que los parámetros de durabilidad del ECC sean mejores y, lo que es más importante, garantiza una unión química excepcional con las fibras de la mezcla. Las fibras sirven para que el ECC tenga una mayor ductilidad permitiendo que el material muestre un comportamiento elástico-plástico o de endurecimiento cuando se encuentra en tensión. En resumen, permite la formación de múltiples grietas a lo largo de la superficie del hormigón antes de generarse una falla crítica, a diferencia de los concretos tradicionales que fallan con la primera señal de deterioro. [15]

Fiorato et al. (1983) evaluó la efectividad de la rehabilitación de muros cortante de hormigón armado mediante revestimiento. Se rehabilitó un muro cortante aumentando el espesor de la banda (revestimiento) con hormigón de alto rendimiento. Las pruebas demostraron que las capacidades de resistencia y deformación del muro rehabilitado habían aumentado, mientras que la rigidez inicial era casi la mitad de la del muro original. En la Tabla 2 se observa la mejora de las características del material. El UHPFRC tiene mayor tensión de compresión y de tracción y mayor modulo elástico. Sin embargo, la mejora en el esfuerzo de compresión es la que más destaca. [14]

Material Characteristic	Conventional Concrete	UHPFRC
Compressive Strength (MPa)	20-40	150-250
Direct Tensile Strength (MPa)	1-3	5-12
Elastic Modulus (GPa)	25-30	30-50

Tabla 2. Comparación de las propiedades de un hormigón armado convencional y un UHPFRC [16]. Fuente American Concrete Institute (ACI), 2018

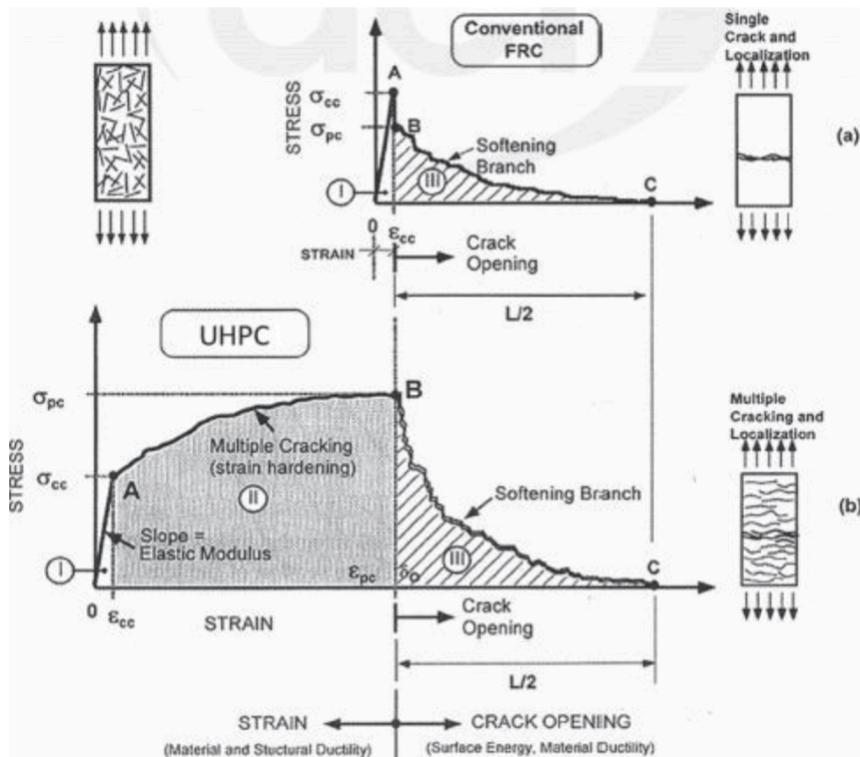


Figura 14. Representación del comportamiento de un hormigón armado y un UHPC [15] Fuente: Finn Orfano, hallado 2019.

En la Figura 14 se muestra el comportamiento del material de ultra alto rendimiento frente al hormigón armado mediante las curvas de tensión-deformación. Se observa que el UHPC acepta deformación plástica y que por lo tanto al aparecer una grieta sigue admitiendo cargas sin que el material falle. Sin embargo, en el hormigón armado convencional se observa como la curva de deformación-tensión admite tan solo deformaciones elásticas consistiendo por lo tanto en una recta con pendiente definida por el módulo elástico. En cuanto aparece una grieta en este material, se rompe.

Se demuestra con estos documentos que el material UHPFRC es un material que cumple con las propiedades que se buscan y que parece adecuado para el fin de este proyecto, rehabilitar un muro para mejorar su rendimiento ante actividades sísmicas.

3.5. Conclusión

A lo largo de este capítulo se han revisado los conceptos relacionados con las estructuras y el comportamiento de dichas estructuras ante actividades sísmicas. Se ha comenzado con los muros cortantes y se ha finalizado con el material que va a ser utilizado para la rehabilitación de los muros cortantes. La siguiente sección tiene el objeto de analizar un caso experimental donde se observan muestras de muros sometidas a cargas cíclicas y a continuación se explica la simulación que se va a realizar.

4. Análisis de un modelo experimental

El capítulo anterior estaba enfocado en la revisión de conceptos relacionados con la rehabilitación de un muro, desde la definición de muro cortante hasta las propiedades del material de aplicación. En el presente capítulo se va a explicar un caso experimental ya existente en el que se estudia los efectos de una carga cíclica en muros fabricados con distintos materiales. Se realiza un análisis enfocado en los beneficios que puede aportar el material de interés UHPFRC en cuanto a rigidez.

4.1. Descripción del modelo experimental.

El caso experimental que se explica a continuación ha sido realizado por Chung-Chan Hung, Honghao Li y Hong-Chi Chen [17]. En este caso experimental se aprovecha las buenas propiedades del hormigón de ultra alto rendimiento y aplica este material a varios muros cortantes y se observa su comportamiento ante actividades sísmicas.

Como ya se ha mencionado anteriormente, con el fin de mejorar los defectos de los muros cortantes se implanta un revestimiento de hormigón para reforzarlos. El UHPFRC es un medio viable para el fortalecimiento, debido a su comportamiento de endurecimiento por tensión y su capacidad para resistir las formaciones de agrietamiento. Además, el uso de las fibras permite una mejor respuesta estructural debido a la alta resistencia a la tracción. Este efecto combinado con la impresionante resistencia a la compresión (que según se informa es superior a 100Mpa) ayuda a proporcionar una ductilidad que es significativamente mayor que la de los materiales de hormigón tradicionales.

Este caso experimental analiza e investiga el comportamiento de muros cortantes con una relación de aspecto de 0,73. Estos muros están reforzados con UHPFRC y barras de acero de alta resistencia. El uso de barras de acero de alta resistencia en lugar de las barras de acero estándar permite una reducción en la cantidad de acero utilizado. Este tipo de material permite la prevención de efectos perjudiciales como la rotura de la unión y el aplastamiento del hormigón antes de que se produzca la deformación del acero.

Los muros evaluados fueron construidos o bien con UHPC o UHPFRC con una proporción de fibras de acero del 2% por peso de material de hormigón. Como se mencionó anteriormente, las paredes fueron diseñadas para incorporar barras de

acero de alto rendimiento con diferentes resistencias nominal, de 420Mpa y 785Mpa.

Los detalles de diseño de las muestras de ensayo (en mm) se muestran en la Figura 15. Cada pared tiene sus extremos conectados a bloques hormigón armado (RC) de alta resistencia.

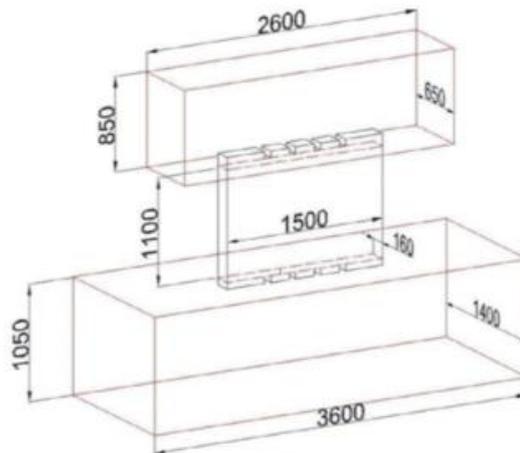


Figura 15. Detalles del diseño. Fuente: Science Direct, 2017 [12]

Los parámetros del experimento se enumeran a continuación:

1. El material de concreto de ingeniería (UHPC o UHPFRC)
2. La resistencia de las barras de acero (Resistencia normal (NS): 420MPa o Alta Resistencia (HS): 785Mpa)

Las cuatro muestras son una combinación de las variables mencionadas:

Muestra 1: UHPC-HS

Muestra 2: UHPFRC-NS

Muestra 3: UHPC-HS

Muestra 4: UHPFRC-HS

Se realizaron pruebas de tracción y de compresión para identificar las propiedades de los materiales UHPC y UHPFRC.

Para analizar el comportamiento bajo carga cíclica, se aplicaron desplazamientos horizontales a la parte superior del bloque RC como se muestra en la Figura 16, a

una altura de 1.700 mm desde la parte inferior del elemento. La Figura 17 muestra la relación entre el número de ciclos aplicados y el ratio de desplazamiento esperado. La proporción de desviación se calcula como $\Delta u (hs)/hs$. Dónde, $\Delta u (hs)$ es la deformación observada donde se aplica la carga, siendo hs 1700 mm como se ha mencionado anteriormente. Como se puede ver en la Figura 17, se aplican tres ciclos con la misma proporción de desviación y es el método que se utiliza para simular un sismo de forma experimental.

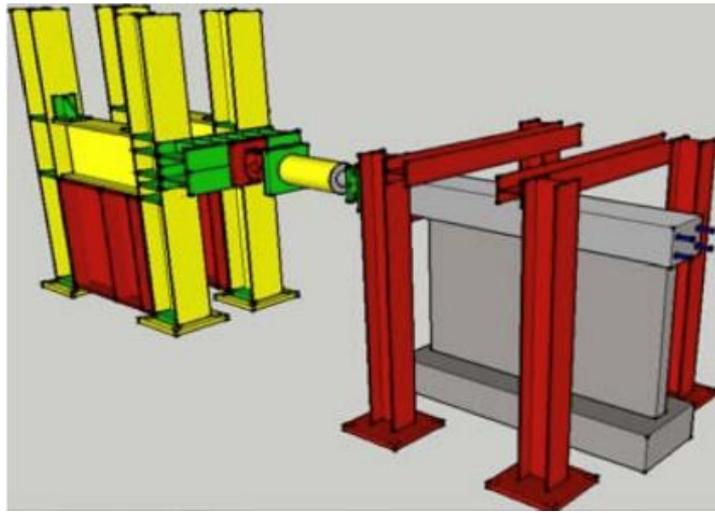


Figura 16. Montaje experimental. Fuente: C.A. Cruz Noguez, 2014. [18]

Se utilizaron varios dispositivos para el correcto desarrollo y medición del ensayo, como las células de carga para medir la fuerza aplicada y sensores de distancia tipo LVDT para monitorizar la desviación lateral. Además, se utilizaron matrices densas de galgas extensométricas para medir la deformación de los refuerzos de acero longitudinales y transversales en las paredes.

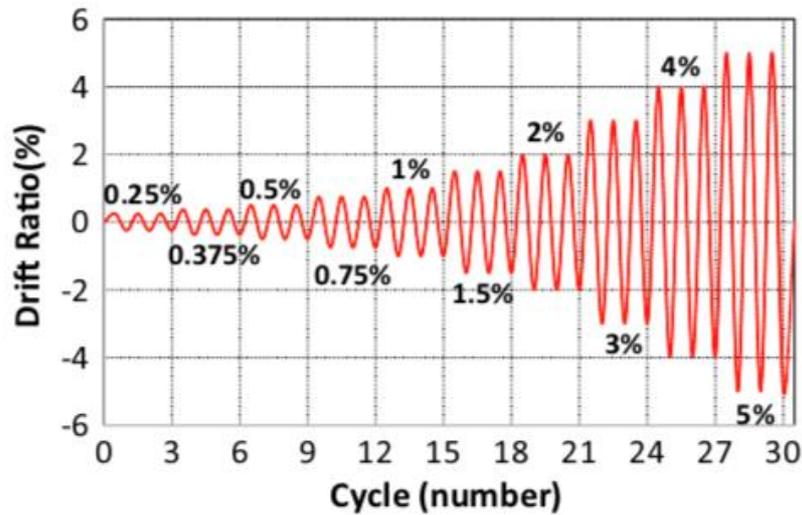


Figura 17. Proporción de desviación aplicada. Fuente: Science Direct, 2017 [12]

4.2. Resultados obtenidos

Las propiedades obtenidas en relación con la resistencia a la tracción y a la compresión se muestran en la Tabla 3 . Tanto el UHPC como el UHPFRC tienen valores muy altos de resistencia a la compresión, sin embargo, es interesante señalar que el material con fibras (UHPFRC) tiene un valor menor de resistencia a la compresión.

Specimen	Material properties of UHPC/UHPFRC			
	Compressive strength (MPa)	Tensile strength (MPa)	Cracking tensile strain(%)	Ultimate tensile strain(%)
UHPC-HS-0.5 $\sqrt{f'_c}$	166	5.3	0.02	0.02
UHPFRC-NS-0.5 $\sqrt{f'_c}$	125	7.5	0.04	2.22
UHPC-HS-0.83 $\sqrt{f'_c}$	158	5.2	0.03	0.07
UHPFRC-HS-0.83 $\sqrt{f'_c}$	115	8.5	0.05	2.05

Tabla 3. Resumen de los resultados experimentales. Fuente: Science Direct, 2017 [12]

Por otro lado, el comportamiento cíclico se va a analizar a través de los patrones de destrozado de las diferentes muestras.

4.2.1. Muestra 1: UHPC-HS

Al aplicar la fuerza cíclica, cuando la proporción de desviación es inferior a 1% no se observan desprendimientos en la muestra. El daño está dominado por grietas de cizallamiento diagonales. La muestra falla por flexión antes que por cizallamiento y el test se termina con un 1.5% de desviación aplicada porque la resistencia se reduce en mas de un 50%.

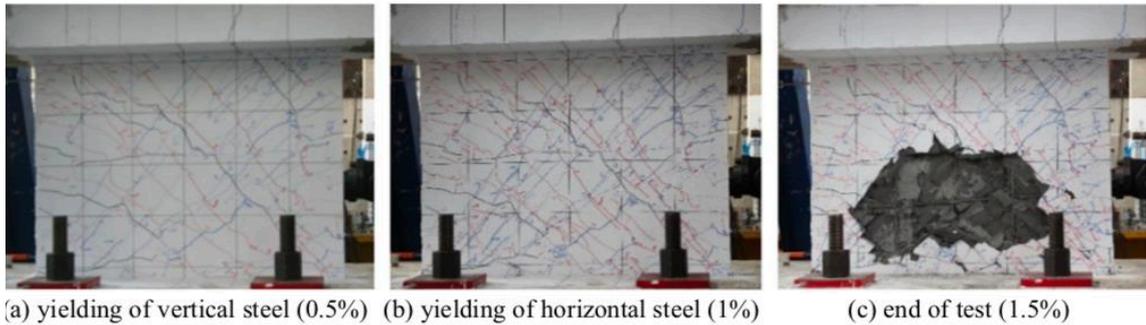


Figura 18. Patrón de dañado de la muestra 1. Fuente: Science Direct, 2017 [12]

4.2.2. Muestra 2: UHPFRC-NS

El daño aquí consiste en estrechas y densas grietas causadas tanto por flexión como por cizallamiento. Por encima del 1% de desplazamiento, aparecen algunas grietas por flexión. Cuando se alcanza el 2% de desviación, el muro se caracteriza por una larga grieta que atravesaba todo el muro longitudinalmente en la parte inferior, provocando un deslizamiento visible. La carga termina en un 4% de desviación ya que la resistencia ha caído más de un 70%.

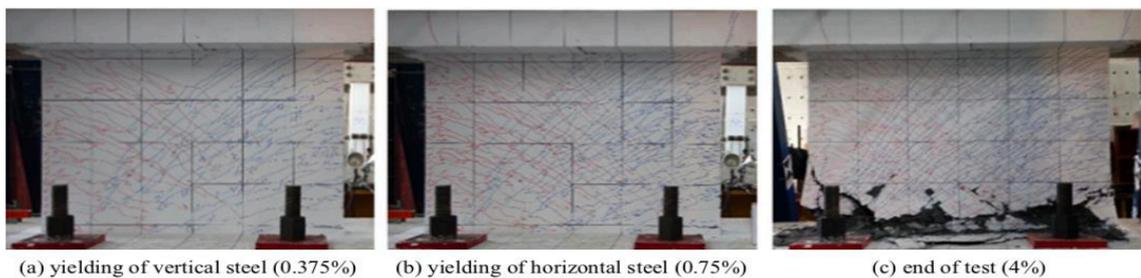


Figura 19. Patrón de dañado de la muestra 2. Fuente: Science Direct, 2017 [12]

4.2.3. Muestra 3: UHPC-HS

El daño provocado con un 0,75% de proporción se caracteriza por un denso conjunto de grietas diagonales. Debido a la acción cíclica y la continua compresión

en distintas direcciones, una gran región en el centro de la pared se desprende (en el 1% de desplazamiento). La vulnerabilidad al agrietamiento y desconchado de esta muestra se debe a la naturaleza frágil de este material. Con un 1,5% de desviación, la prueba termina porque la resistencia se reduce en un 75%.

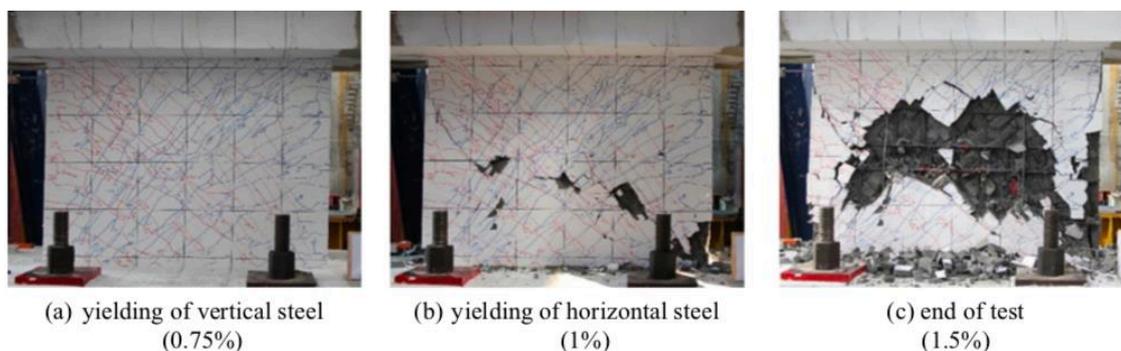


Figura 20. Patrón de dañado de la muestra 3. Fuente: Science Direct, 2017 [12]

4.2.4. Muestra 4: UHPFRC-HS

Con la carga aplicada, tanto las grietas por flexión como las diagonales se hacen visibles en la pared. La ventaja de esto es que, aunque la densidad de las grietas iba aumentando, el ancho de estas mismas seguía siendo estrecho. Algunas de estas grietas aparecen cuando la desviación es del 2%. Con un 3% de desplazamiento, se localizan algunas más grietas. Es aquí dónde aparece el efecto puente que se busca con la rehabilitación de los muros mediante este material. Los beneficios de este efecto gracias a la presencia de las fibras son que aparecieron algunas grietas nuevas que permitieron que el muro durara más evitando el rápido ensanchamiento de las grietas existentes. La prueba de carga finalizó con una deriva del 3% porque la resistencia se redujo en un 70%.

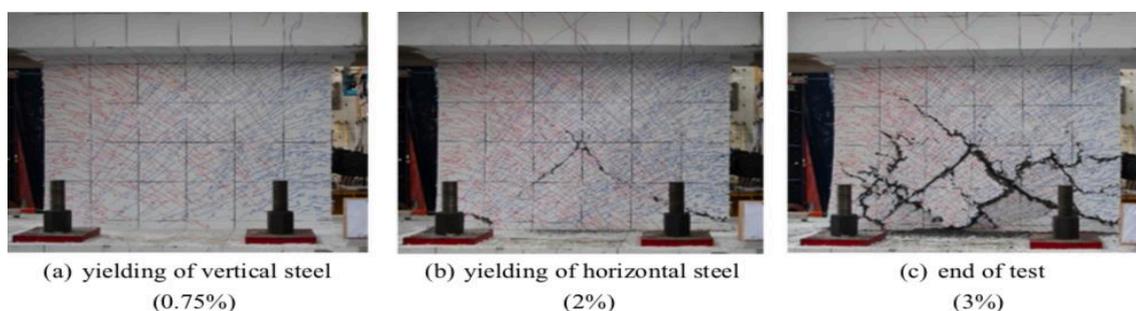


Figura 21. Patrón de dañado de la muestra 4. Fuente: Science Direct, 2017 [12]

4.3. Beneficios en cuanto a rigidez

La Figura 22 representa la rigidez de las cuatro muestras frente a la proporción de la desviación. Para obtener los datos que se muestran en el gráfico, se ha utilizado la ecuación que define la rigidez:

$$k = \frac{\Delta Fuerza (kN)}{\Delta Desplazamiento (mm)}$$

Ecuación 1. Rigidez

Además, se ha obtenido este valor en la última repetición de cada ciclo mostrado en la Figura 17.

Podemos apreciar cómo la rigidez de los materiales con fibras de acero (UHPFRC) es mayor que la de los materiales sin fibras (muros UHPC). Para ser más precisos, se obtiene una mejora del 40% para los muros con fibras. La diferencia de rigidez entre las paredes con y sin fibras disminuye cuando aumenta la desviación. La razón de esto es que el efecto puente de las fibras empeora a medida que se realizaba la prueba y el ancho de la grieta aumenta.

En cuanto a la forma de la curva, todos los materiales se comportan de forma similar excepto el UHPC-HS ya que la rigidez disminuye repentinamente debido a su naturaleza frágil ya comentada. Ambos tipos de UHPFRC tienen casi el mismo rendimiento en términos de retención de rigidez. Por lo tanto, el uso de fibras de acero es una solución eficaz para limitar las grietas y los arañazos durante una carga cíclica.

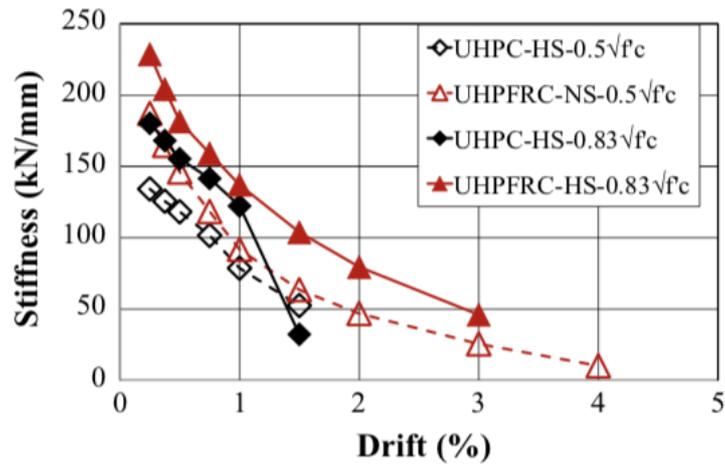


Figura 22. Rigidez calculada a raíz de los resultados obtenidos. Fuente: Science Direct, 2017 [12]

4.4. Conclusiones

En este capítulo se ha descrito un modelo experimental muy similar a lo que se busca en el proyecto. En este modelo se han descrito las diferentes formas de ruptura de los muros en función del material en el que se han fabricado y se han observado las distintas apariencias de las grietas formadas. La conclusión más relevante para el futuro modelo es que efectivamente el material elegido, el UHPFRC aporta muchos beneficios ante cargas cíclicas. En primer lugar, el efecto puente obtenido gracias a las fibras permite un mejor aguante añadiendo a esto la mejora en rigidez comentada en el último epígrafe. A continuación, se presenta la simulación de un edificio con ocho pisos con muros cortantes rehabilitados con este material. La mayor diferencia a priori es que las dimensiones son distintas puesto que se va a tratar de un muro esbelto en vez de uno bajo y ancho.

5. Descripción del modelo desarrollado

En el capítulo cuatro se ha descrito y analizado un caso experimental ya existente. Cuatro muestras fabricadas con distintas proporciones de materiales han sido sometidas a cargas cíclicas con el objetivo de analizar los destrozos. Se ha observado que aquellos muros diseñados con hormigón de ultra alto rendimiento y fibras son resistentes a este tipo de movimientos. En este capítulo, se va a diseñar un edificio de ocho pisos con muros cortantes y se va a estudiar su comportamiento ante terremotos. Para ello, se compara el comportamiento de dos estructuras diferentes; una fabricada con el hormigón armado convencional y la otra rehabilitada con un caparazón del material estudiado en este proyecto, el UHPFRC.

5.1. Condiciones de contorno

Para evaluar los beneficios de la rehabilitación del revestimiento de hormigón usando UHPFRC, se crea un modelo. Este modelo ha sido realizado con la plataforma ETABS CSI, un software de modelado de elementos finitos capaz de realizar análisis espectrales.

El edificio contiene dos muros cortantes en direcciones perpendiculares como se muestra en la Figura 26. Para realizar el análisis se utilizan aceleraciones espectrales necesarias para que el edificio sea sometido a un terremoto. Sólo se modifica un parámetro entre las dos simulaciones y es la composición del material de la pared cortante. El primer escenario contiene una pared cortante típica con refuerzos latitudinales y horizontales y se comparará con un modelo que contiene una cubierta de UHPFRC. Para medir la eficacia de una reparación, se observan varios resultados.

Como se ha mencionado anteriormente, los códigos sísmicos ofrecen orientación para limitar el riesgo de terremotos, y algunas de las disposiciones del pasado han contribuido a la construcción de estructuras sísmicas deficientes. El reequipamiento de las estructuras es fundamental para reducir los riesgos y garantizar la seguridad de los ocupantes. Existen numerosas técnicas de adaptación, pero como este proyecto se centra en el uso de hormigón reforzado con fibras de ultra alto rendimiento (UHPFRC) el modelo está basado en esta técnica.

Aunque ya hemos visto un estudio experimental en el que el UHPFRC ha sido implementado con éxito para mejorar el rendimiento de los muros de hormigón armado, este capítulo se centra en el modelado de un sistema en el que los resultados

de un edificio de hormigón armado se comparan con los resultados de un sistema rehabilitado con UHPFRC. El UHPFRC se aplica tan solo en los muros cortantes. Además, el tipo de muro analizado es distinto. Se trata de un muro esbelto que cubre todos los pisos del edificio y que por lo tanto suele tener comportamientos distintos antes cargas cíclicas.

El objetivo de la rehabilitación es mejorar el comportamiento de la estructura ante cargas axiales y laterales mejorando la resistencia, ductilidad y rigidez del sistema. Es deseable tener una estructura suficientemente dúctil para que pueda soportar grandes deformaciones bajo cargas laterales, de modo que pueda volver a su estado original sin fallos. A su vez, la rigidez también es un factor importante, ya que un aumento de la rigidez limita la deflexión final del edificio.

Por lo tanto, a partir de la simulación de los dos sistemas, se espera que el sistema UHPFRC esté sujeto a un aumento de la resistencia axial, la resistencia a la flexión y la rigidez. Se analiza los resultados obtenidos gracias a dos análisis mencionados en el capítulo 3: el análisis estático equivalente y el análisis del espectro de respuesta. Sin embargo, como es difícil cuantificar y evaluar adecuadamente cuando hay cambios en las fuerzas de los sistemas, se realiza, además, un análisis para obtener información sobre la fuerza y la capacidad dúctil de los dos sistemas modelados llamado análisis estático no lineal o push-over. Los resultados de los tres análisis proporcionan información suficiente para poder llegar a una conclusión sobre el rendimiento del edificio sin adaptar y adaptado con UHPFRC.

Para modelar las estructuras y evaluar los beneficios del UHPFRC, se utiliza ETABS. La estructura utilizada es un edificio de ocho pisos con cuatro muros cortantes, dos en cada dirección. La vista 3D y la vista en planta del edificio se pueden ver en la Figura 23 y en la Figura 24.

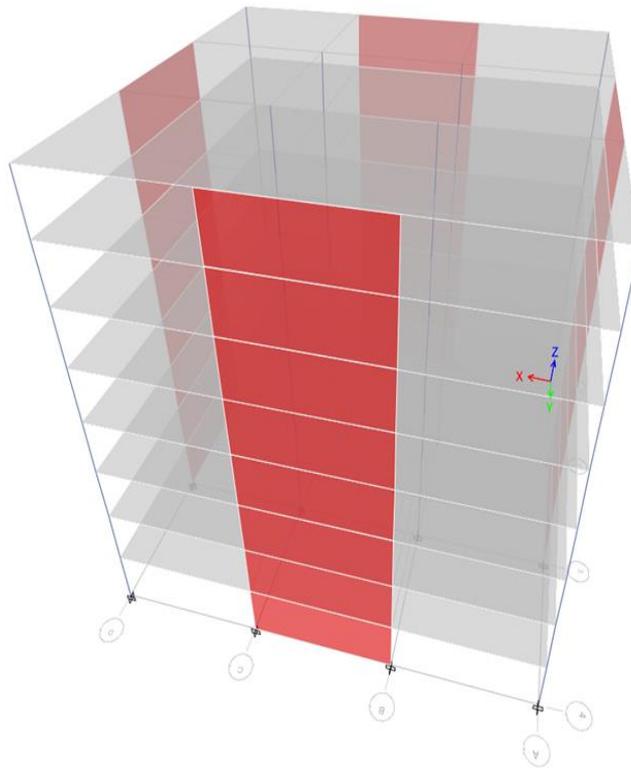


Figura 25. Vista en 3D de la estructura. Fuente: Elaboración propia, 2019 [19]

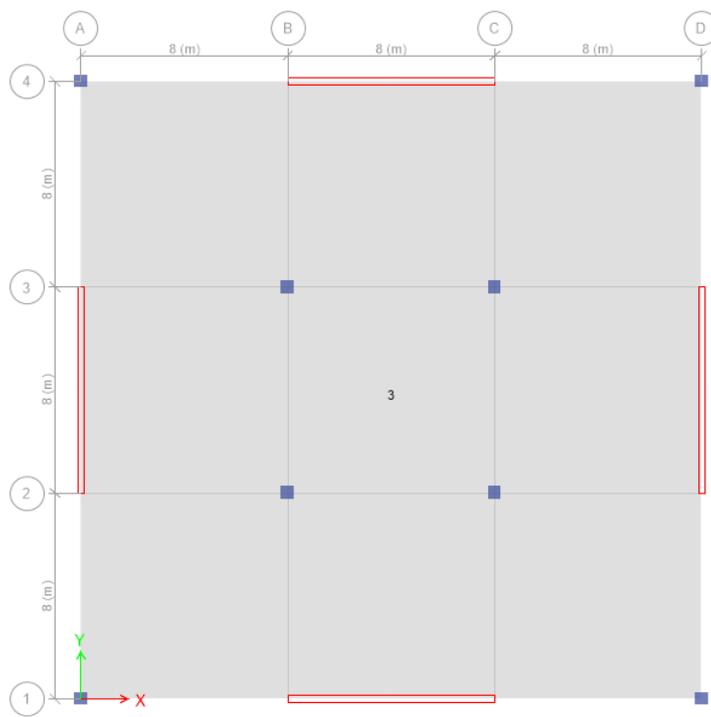


Figura 26. Planta de la estructura. Fuente: Elaboración propia, 2019. [19]

Para modelar el edificio, se utilizaron las normas de diseño de la CSA, organización mundialmente conocida por desarrollar estándares de diseño y las disposiciones del NBCC 2010 (National Building Code of Canada). Las cargas aplicadas y las propiedades de los materiales utilizados se pueden ver en la siguiente tabla.

CARGAS	HORMIGÓN	ACERO	UHPFRC
Carga muerta: 3 kPa	$f_c'=30$ Mpa	$f_y= 400$ Mpa	$f_c'= 120$ Mpa
Carga viva: 1.9 kPa	$\gamma= 24$ kN/m ³		Tensile strength= 11 Mpa
Carga de la nieve: 2.49 kPa	$E= 25$ Gpa		$E= 37$ Gpa

Tabla 4. cargas aplicadas y propiedades de los materiales. Fuente: Elaboración propia, 2019

Dónde,

f_c' = límite elástico del hormigón utilizado

γ = densidad del hormigón

f_y = límite elástico del acero

E = módulo de elasticidad

Para comprender adecuadamente los resultados obtenidos, se ha dado por hecho una serie de cosas:

- La condición de emplazamiento es de clase B.
- Las losas del edificio son planchas delgadas porque las deformaciones por los esfuerzos cortantes no son significativas.
- Para el revestimiento de los muros cortantes con UHPFRC, se modelan las paredes como cáscaras formadas por distintas capas porque el programa admite la consideración de materiales compuestos.
- El refuerzo de fibras y hormigón armado forman un solo elemento a efectos de la simulación.
- Fibras y hormigón son completamente interactivos, tiene los mismos efectos de plegado y el mismo modo de ruptura.
- Los muros cortantes son convencionales con factores $R_d^2=1,5$ y $R_o^3=1,3$ utilizados para calcular la demanda rotacional inelástica.
- Se aplica una capa de UHPFRC de 25 mm en cada cara longitudinal de los muros cortantes, cubriendo las caras al completo.

² Factor de ductilidad

³ Factor de sobreesfuerzo

Normalmente, es preferible envolver la pared con el revestimiento sólo sobre las secciones sísmicamente deficientes. Estas zonas suelen estar en las regiones de bisagras de plástico por lo que no hacerlo sobre toda la longitud no es lo habitual.

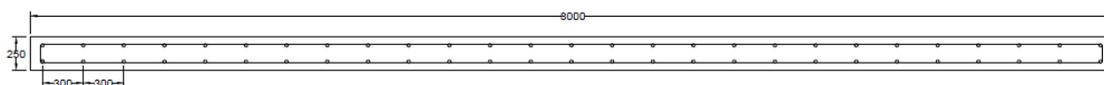


Figura 27. Sección del muro cortante del hormigón armado. Fuente: Elaboración propia, 2019. [19]

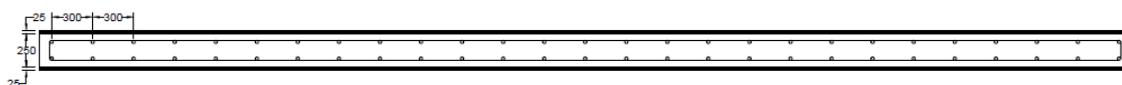


Figura 28. Sección del muro cortante rehabilitado. Fuente: Elaboración propia, 2019. [19]

5.2. Resultados de la simulación

Se realizan tres análisis diferentes en los dos modelos y se comparan los resultados. Se realizan comparaciones entre el análisis estático y el análisis dinámico. Se utiliza el método estático equivalente, donde las cargas permanecen constantes en el tiempo y la respuesta estructural no varía con el tiempo. Esto no refleja la realidad en la que la carga varía con el tiempo. Se utiliza el análisis del espectro de respuesta lineal, donde la respuesta más probable de una estructura debido a la carga sísmica se da en función del tipo de carga y de las condiciones del emplazamiento sísmico.

Los resultados tanto del procedimiento estático como del dinámico fueron compilados y se pueden ver en las siguientes figuras.

La Figura 29 representa el cortante en la base de los diferentes resultados obtenidos. Se observan tres barras, dos de ellas referidas al muro original y otra al rehabilitado. El cortante en la base es una estimación de la fuerza lateral máxima esperada debido al movimiento sísmico del suelo en la base de una estructura. El cortante en la base depende de varios factores como de la proximidad a fuentes potenciales de actividad sísmica, la masa y los factores de ductilidad y sobreesfuerzo. En el gráfico se observa que el muro con el revestimiento de UHPFRC tiene mayor cortante respecto al de hormigón armado, aproximadamente 650 kN más. Esto se debe al aumento de la sección transversal en la pared causado por la adición de una capa de UHPFRC que ha conllevado al aumento del peso de la estructura. Por otro lado, en la Figura 30 se observa como el momento de vuelco del UHPFRC también es mayor

que el de hormigón armado y esto se debe a que una mayor fuerza lateral esperada equivale a su vez a un mayor momento de vuelco.

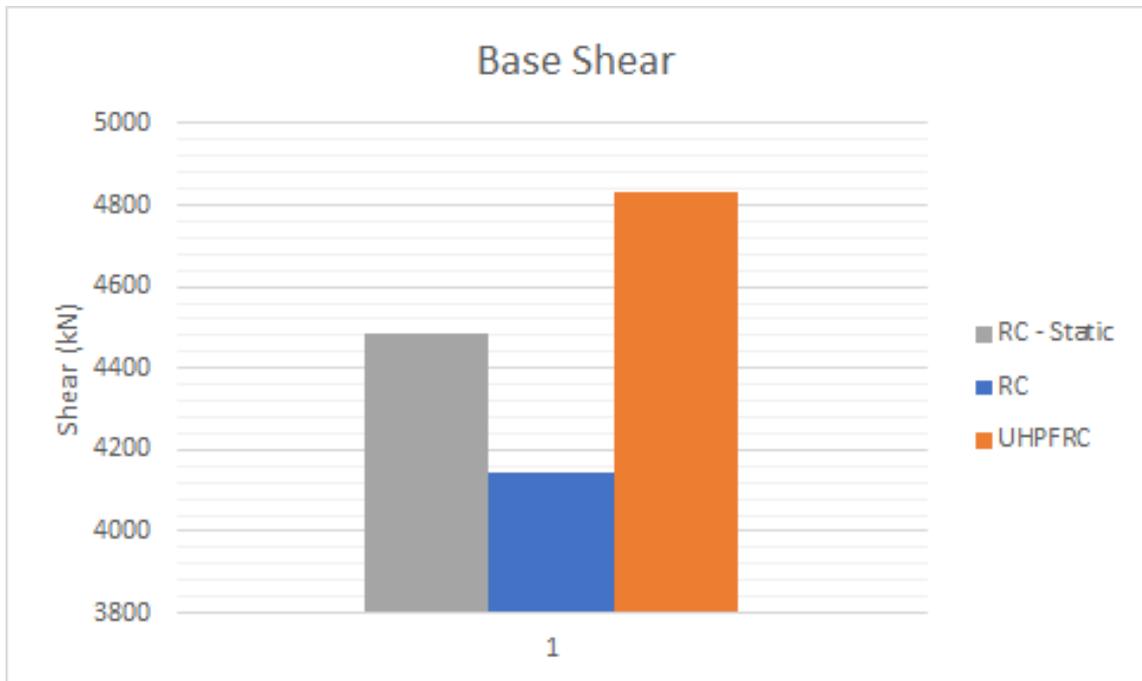


Figura 29. Resultados del cortante. Fuente: Elaboración propia, 2019. [19]

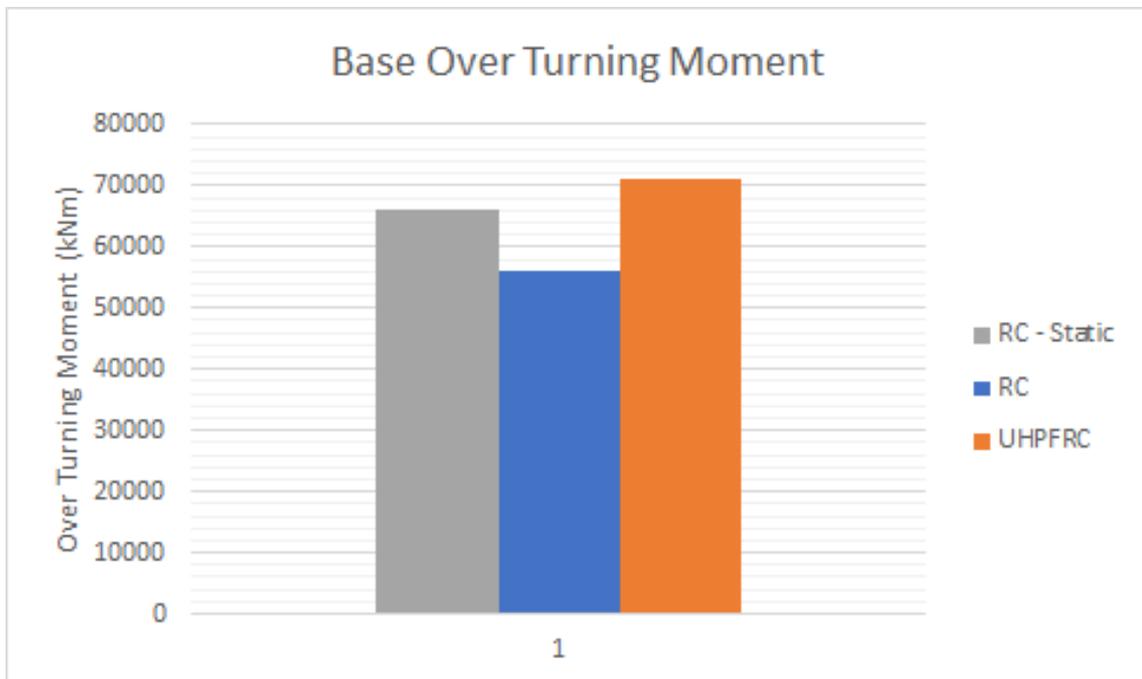


Figura 30. Resultados del momento de vuelco. Fuente: Elaboración propia, 2019. [19]

A la hora de analizar los siguientes gráficos es necesario entender la diferencia entre deriva y desplazamiento.

La deriva en plantas, también conocida como drift, es la diferencia de desplazamientos entre dos pisos consecutivos divididos por la altura de esa planta.

$$D = \frac{\Delta u (H_2) - \Delta u (H_1)}{H_2}$$

Ecuación 2. Deriva

El desplazamiento de la planta es el valor absoluto de desplazamiento de la planta bajo la acción de las fuerzas laterales a las que se somete la estructura.

$$d = \Delta u (H_2)$$

Ecuación 3. Desplazamiento

Como ambas gráficas parten de los mismos resultados tienen las dos, como cabe esperar, un aspecto creciente, es decir que a medida que se sube en altura el desplazamiento es mayor como se puede ver en la Figura 31. Sin embargo, el desplazamiento tiene un aspecto casi lineal y la deriva es más bien parabólico. Comparando los distintos materiales, el hormigón armado se ve sometido a mayor desplazamiento ante carga sísmica, siendo este material bajo el análisis estático el que más se desplaza. Esto implica que la estructura revestida con UHPFRC se desplaza menos obteniendo por lo tanto una mejora en cuanto al movimiento de la estructura ante terremotos. En el octavo piso el RC bajo análisis dinámico se desplaza casi 20 mm mientras que el UHPFRC no llega a 15mm.

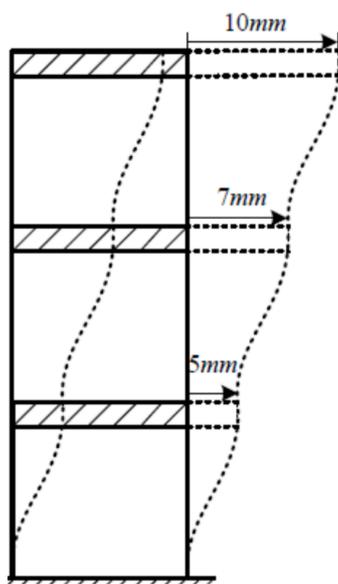


Figura 31. Esquema de una estructura bajo carga sismica. Fuente: Emre Erkmen, 2019 [20]

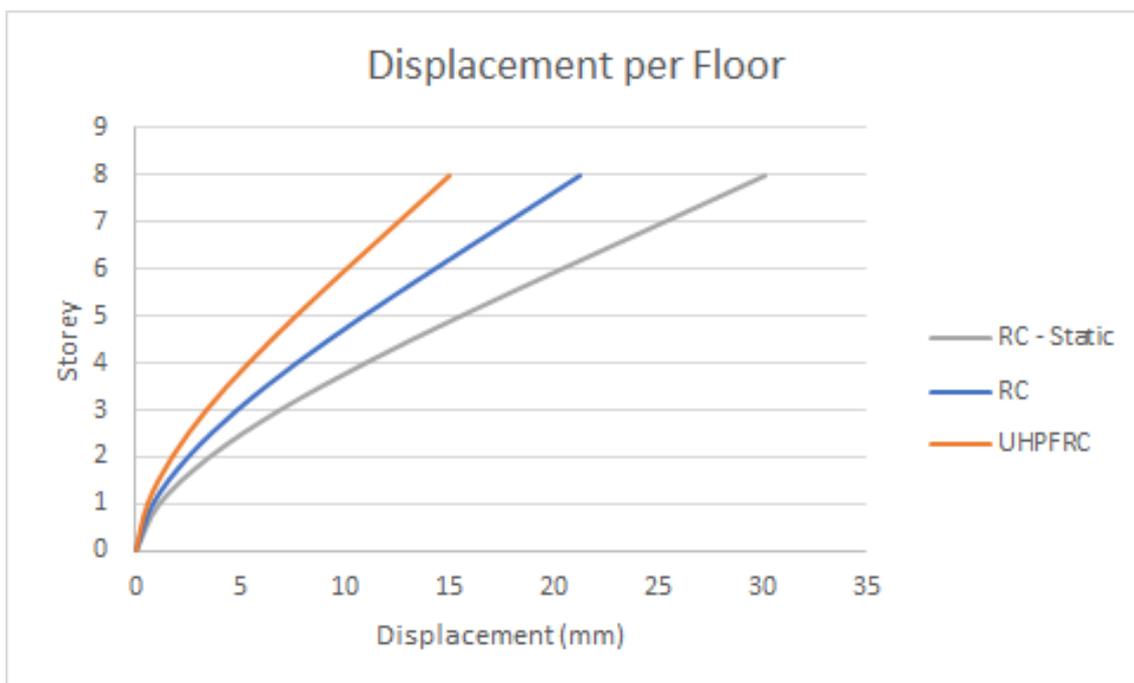


Figura 32. Resultados de los desplazamientos por piso. Fuente: Elaboración propia, 2019. [19]

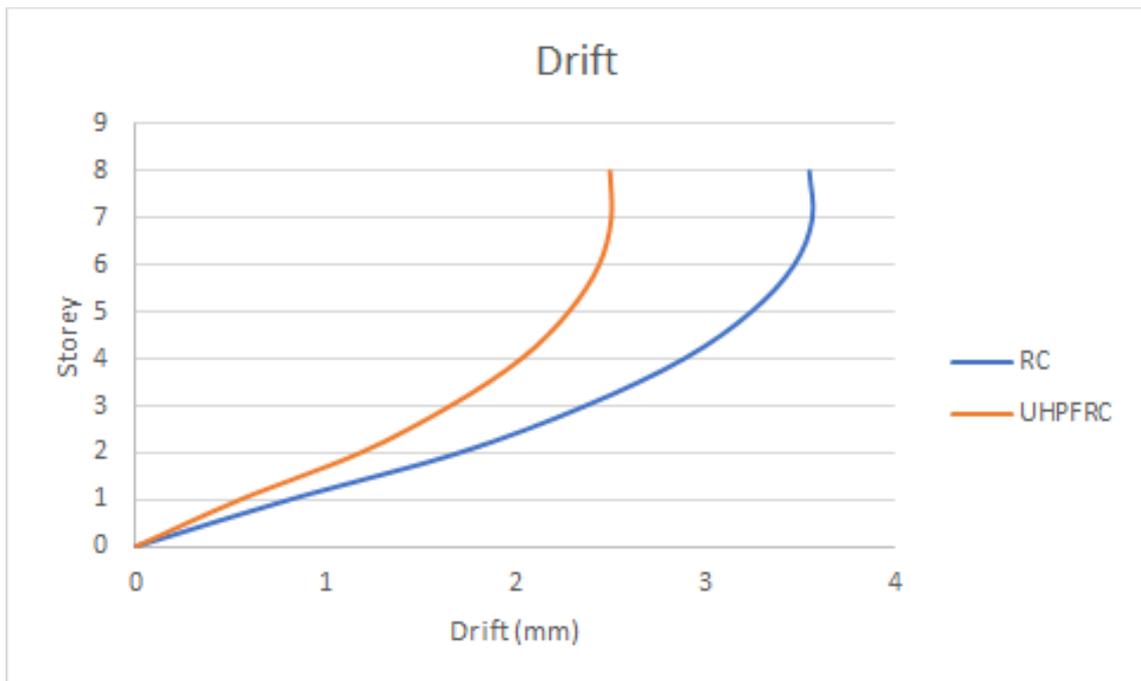


Figura 33. Resultados de la deriva por piso. Fuente: Elaboración propia, 2019. [19]

En la Figura 34 se muestra la rigidez que ya ha sido previamente definida. Esta vez, las curvas son decrecientes. Al tratarse de un ratio de fuerza y desplazamiento y ser mayor el desplazamiento en los pisos mas elevados, la rigidez es menor cuanto mas alto es el edificio. Por otro lado, las tres curvas tienen el mismo aspecto, lo que implica que todas se comportan de la misma manera a rasgos generales. Sin embargo, la curva que representa el material UHPFRC se encuentra desplazada hacia la derecha y por lo tanto tiene mayor rigidez que el RC en todos los pisos. En la primera planta se aprecia un aumento del 64% respecto el análisis de espectro de respuesta del hormigón armado (RC). De nuevo, en cuanto a rigidez, se observa una mejora en la rehabilitación del muro. Por otro lado, para el calculo de rigidez se observa que tanto con el análisis estático como el de espectro de respuesta se obtienen resultados muy similares.

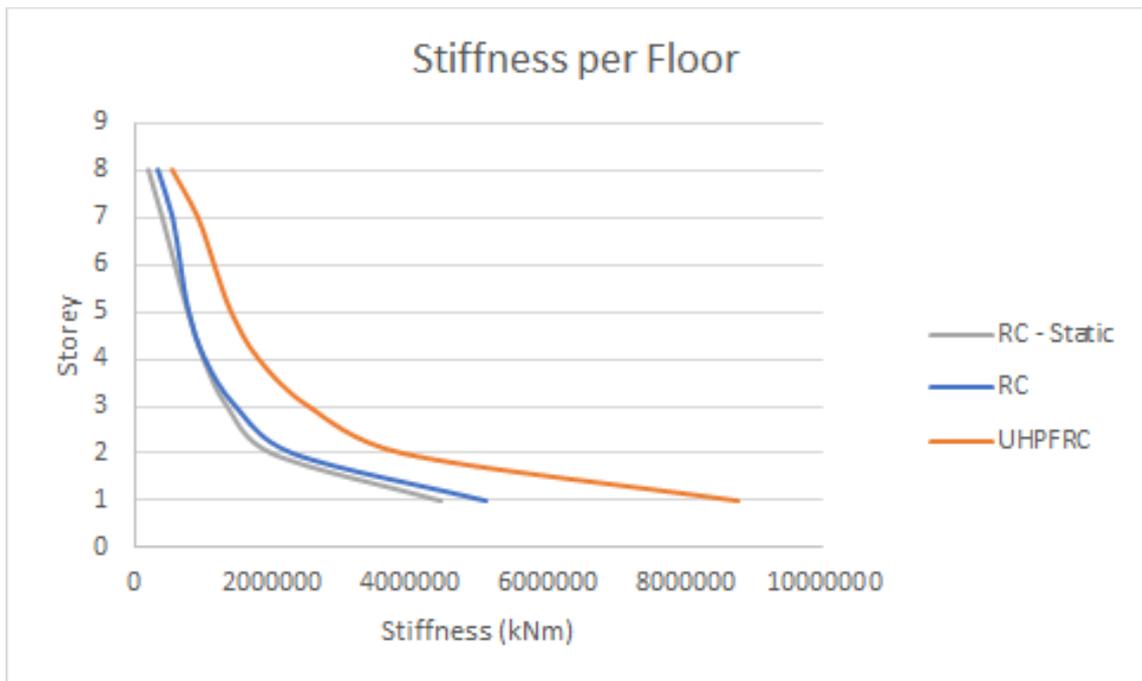


Figura 34. Resultados de la rigidez por pisos. Fuente: Elaboración propia, 2019. [19]

La siguiente tabla muestra los periodos de los distintos modos y también la diferencia entre los periodos del RC y el UHPFRC. Se observa una reducción del periodo de un 25%. Esta reducción es una muestra del incremento en rigidez comentado previamente. Visto desde un punto de vista más simplificado, si se tarda menos en completar un ciclo de una onda sísmica es porque el material que se está moviendo es menos dúctil y vuelve al sitio de origen antes. Las estructuras con un periodo muy bajo tienden a colapsar antes, sin embargo, el periodo de la estructura rehabilitada es menor pero aun sigue siendo lo suficientemente elevado como para que no colapse.

	RC	UHPFRC	
MODO	PERIODO (s)	PERIODO (s)	Diferencia (%)
1	0,681	0,516	24,2
2	0,681	0,516	24,2
3	0,411	0,312	24,1
4	0,136	0,102	25
5	0,136	0,102	25

Tabla 5. Resultados de los periodos. Fuente: Elaboración propia, 2019.

Por último, para evaluar adecuadamente la resistencia y la ductilidad, se realiza un análisis estático no lineal (conocido también bajo la palabra inglesa push-over). El push-over es un método en el que una estructura está sometida a una carga gravitacional y a un patrón de carga lateral controlado por desplazamiento monótono que aumenta continuamente a través de un comportamiento elástico e inelástico hasta que se alcanza una condición final, en este caso hasta que se produce el colapso del sistema. Esto se hace asignando material no lineal a los puntos de las bisagras donde se produce la rotación del plástico y se controla su comportamiento elástico e inelástico.

Los resultados del análisis estático no lineal se pueden ver en la Figura 35 donde se obtiene el nivel de resistencia, mediante el análisis de las fuerzas cortantes con respecto al desplazamiento lateral aplicado en la parte superior. Cuando se comparan los resultados con la estructura de hormigón armado, se puede observar que la curva del UHPFRC se desplaza hacia arriba, lo que indica que se está resistiendo más fuerza y se prolonga a un mayor desplazamiento, lo que puede interpretarse como un aumento de la capacidad dúctil y de la disipación de energía del sistema. Además, las curvas se interrumpen en distintos puntos respecto del eje de abscisas, lo que implica que colapsan en distintos momentos. La estructura UHPFRC tarda más en colapsar que la de hormigón armado, para ser concreto, el UHPFRC colapsa con un desplazamiento monitorizado del 700 mm mientras que el hormigón con uno de 500mm.

En este caso no se cumple la facilidad de colapso relacionado con los periodos fundamentales, se debe a que el material rehabilitado ha aportado mayor resistencia a pesar de tener un periodo menor.

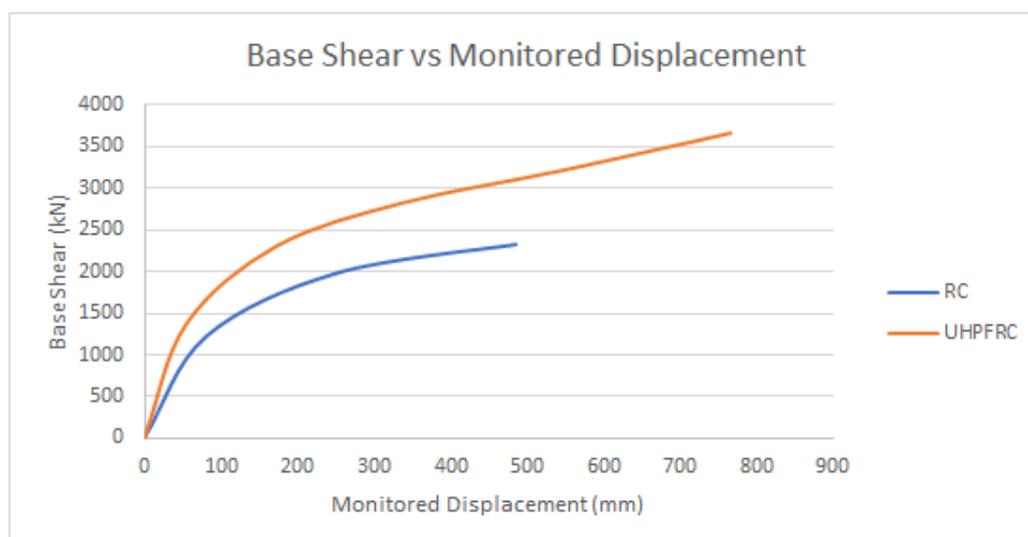


Figura 35. Resultados del análisis estático no lineal Fuente: Elaboración propia, 2019. [19]

5.3. Conclusión

En este capítulo se ha explicado el modelo realizado con el software ETABS Csi y en segundo lugar se han expuesto y analizado los resultados obtenidos. Mediante los resultados obtenidos con la simulación se ha demostrado que el revestimiento mediante el material UHPFRC aporta una serie de mejoras para el rendimiento de la estructura. En el siguiente capítulo, se realizará una serie de conclusiones.

6. Estudio económico

En este capítulo se realiza una estimación de lo que puede suponer este proyecto económicamente hablando. En primer lugar, se calculan los costes que este proyecto conllevan y en segundo lugar se estima el coste que puede conllevar dicha reforma en un periodo determinado.

6.1. Costes del proyecto

Para poder estimar los costes se va a realizar una división general. En primer lugar, se van a estimar los costes que conllevan el diseño del proyecto. A continuación, se calculan los de la obra y por último los del material.

La estimación de costes se va a hacer sobre la misma estructura modelada con ETABS. Se trata de una estructura de ocho pisos con cuatro muros cortantes.

6.1.1. Diseño del proyecto

Se han estimado los costes en cuanto al diseño del proyecto. Se ha tenido en cuenta los siguientes parámetros:

- El coste del programa. La licencia del programa cuesta 5000\$CA⁴ (3400€) y un coste de mantenimiento anual de 875\$CA (595€). En este caso se asume un año de mantenimiento por seguridad y necesidad de cambios. Por lo tanto, el coste total del programa es de 3995€. [21]
- El diseño del software. Es necesaria un ingeniero para poder desarrollar el software con todas las asunciones necesarias y modelos realistas para poder aplicarlo con el menor error posible. Se calculan 40 horas de trabajo.
- Las pruebas necesarias con distintas muestras y las soluciones a dichos problemas. Como se ha mostrado en este proyecto es necesario realizar una serie de casos experimentales para comprobar que la simulación esta bien y detectar los posibles fallos. Se calcula de nuevo unas 40 horas.
- La documentación necesaria para el proyecto. Por último, es necesario cumplimentar la documentación necesaria del proyecto y se invertirán 60 horas.

⁴ Se estima el coste canadiense porque el programa se desarrolló ahí.

	HORAS	€/HORAS	COSTE TOTAL (€)
Programa ETABS			3995
Diseño software	40	50	2000
Pruebas y solución de problemas	40	50	2000
Documentación del proyecto	60	25	1500

TOTAL: 9495€

Tabla 6. Costes en el diseño del proyecto. Fuente: Elaboración propia, 2019

6.1.2. Coste del material

En primer lugar, se calcula el volumen de material necesitado para poder analizar el coste. Los datos obtenidos a partir del modelo son los siguientes:

Altura (desde la base hasta la octava planta) (H) (Anexo B) = 24000mm

Longitud del muro cortante que va a ser revestido (L) = 6000mm

Ancho de la capa aplicada (W) = 25mm

Una vez obtenidas las dimensiones, se calcula el volumen de material necesario:

$$V = L \cdot W \cdot H = 24000 \cdot 6000 \cdot 25 = 3,6 \cdot 10^9 \text{ mm}^3 = 3,6 \text{ m}^3$$

Ecuación 4. Volumen del material necesario.

El resultado anterior es la cantidad de material utilizada por capa y visto que se trata de ocho muros revestidos por ambos lados se multiplica el precio por ocho.

$$V_{total} = V \cdot 8 = 28,8 \text{ m}^3 \approx 30 \text{ m}^3$$

Ecuación 5. Volumen total

Siendo de 2000 € [22] el coste del hormigón de ultra alto rendimiento reforzado con fibras. EL coste total en el material de revestimiento es el siguiente:

$$C_{UHPFRC} = 30 \cdot 2000 = 60000 \text{ €}$$

Ecuación 6. Coste del UHPFRC

6.1.3. Coste de la obra

El coste de la mano de obra incluyendo trabajador, andamio y precio de construcción es de 23.500 €.

Además, a esta suma de dinero se le añade el precio de un técnico que cobra aproximadamente el 9% del coste de mano de obra, es decir, 2115 €. Por último, un pintado de la superficie exterior es necesario y suponiendo que el coste de la pintura es de 8€/m², el precio de pintar la parte exterior será de 120 €.

El precio total de la construcción es por lo tanto de 25735€.

6.1.4. Conclusión de los costes

Por lo tanto, el coste total es el que se muestra en la siguiente tabla:

	COSTE TOTAL (€)
DISEÑO DEL PROYECTO	9495
COSTE DE LA OBRA	25735
MATERIAL UHPFRC	60000
TOTAL	95230

Tabla 7. Costes totales del proyecto. Fuente: Elaboración propia, 2019

En conclusión, el coste total de la rehabilitación es de 95230 €.

6.2. Pagos de un periodo determinado

Suponiendo que la vida útil de un edificio es de 75 años, y que el edificio lleva existiendo 35 años. Se calculan los pagos a realizar en 40 años.

Se calcula mediante la siguiente ecuación un calculo de cuanto dinero deberían pagar los beneficiaros de dicha reforma teniendo en cuenta el cambio del valor del dinero.

$$T = \sum_{t=1}^n \frac{P}{(1+k)^t}$$

Ecuación 7. Pagos por periodos

Dónde,

T= coste total de la inversión

P=Pagos a realizar en los 40 años (se asumen iguales)

k=tipo de interés exigido a la inversión 3%.

En este caso, interesa despejar el valor de los pagos a realizar. Por lo tanto, se despeja de la siguiente ecuación el valor P.

$$95230 = \sum_{t=1}^{40} \frac{P}{(1+0,03)^t}$$

De esta ecuación, saldría a pagar 4119,88 € por año durante un periodo de 40 años.

7. Conclusiones

En este capítulo se realiza una visión general del proyecto realizado y se valoran los resultados obtenidos. Por último se exponen recomendaciones para trabajos futuros.

7.1. Conclusiones sobre los resultados

El objetivo principal que se persigue en el proyecto es llevar a cabo una técnica, relativamente simple y barata para poder rehabilitar edificios ya existentes. Se trata sobre todo de estructuras que no cumplan con la normativa sismorresistente y por lo tanto de aquellas que no sean suficientemente seguras. Hoy en día existen muchas técnicas para las construcciones que se realizan desde cero, sin embargo, como no conviene destruir muchos edificios es necesario implantar técnicas de rehabilitación como la propuesta en este proyecto. El proyecto se ha dividido en tres bloques fundamentales. En primer lugar, se ha realizado un estudio tanto de patentes como de conceptos teóricos ya existentes con el objetivo de entender lo que ya se ha inventado y todos los componentes. En segundo lugar, se ha expuesto un caso experimental ya realizado con el mismo material que se pretende rehabilitar las estructuras con la idea de ver si el material aporta beneficios. Por último, se ha realizado una simulación de un edificio con muros recubiertos de este material.

En cuanto al estudio de patentes se han descubierto las invenciones ya existentes y como se podía realizar una aportación a la técnica. El estudio de cada una de las componentes ha permitido descubrir la complejidad de una carga sísmica y como afecta en los diferentes tipos de estructuras.

En segundo lugar, los resultados obtenidos en el caso experimental indican que el material de hormigón de ultra alto rendimiento con fibras tiene mejores propiedades ante cargas sísmicas que aquél sin fibras. Se ha concluido que este material aporta rigidez además de una forma de ruptura distinta y más adecuada. En vez de tener un carácter frágil y romperse nada más aparecer una grieta, se rompe tras el llamado efecto puente. Una vez aplicada la carga aparecen grietas poco a poco y la estructura no se rompe hasta que no se produzca un colapso. Por lo tanto, la estructura de UHPFRC tiene más aguante ante cargas cíclicas.

Por último, los resultados obtenidos en la simulación consistieron en comparar un muro sin rehabilitar y otro rehabilitado. Tras la simulación, se obtuvieron una serie de resultados que fueron representados y analizados y en los que se aprecia una

mejora en cuanto a resistencia y rigidez. Para ser precisos, el cortante y el momento de vuelco en la base fueron superiores para el UHPFRC que para el hormigón armado, la deriva y el desplazamiento fueron menores para el UHPFRC que para el hormigón armado. Además, la rigidez es mayor para el UHPFRC. Por otro lado, se pudo observar de nuevo que el colapso de la estructura UHPFRC se produce más tarde que la de aquella sin rehabilitar.

A medida que se ha ido realizando el proyecto se ha ido comprobando que los resultados obtenidos tuvieron sentido y fueron coherentes con la realidad.

Por lo tanto, el material UHPFRC no sólo es un material muy apropiado para los terremotos por sus propiedades mecánicas, sino que también sirve y aporta beneficios cuando se combina con otro material. En este caso se ha demostrado al añadir una capa de 25 mm sobre una superficie de hormigón armado.

7.2. Recomendaciones para futuros estudios

Este trabajo aporta una idea de como mejorar estructuras con muros cortantes. Sin embargo, todavía se pueden realizar estudios sobre distintos tipos de estructuras cómo, por ejemplo, puentes.

Por otro lado, como se ha tenido que asumir una serie de propiedades a la hora de realizar una simulación un análisis experimental puede aportar más detalles. Se propone un análisis experimental similar al expuesto en el capítulo cuatro, pero, con muros esbeltos fabricados con hormigón armado recubiertos con una fina capa del material UHPFRC puede aportar información en cuanto al rendimiento de la técnica.

8. Bibliografía

- [1] Ingeoexpert, 20 abril 2018. [En línea]. Available: <https://ingeoexpert.com/terremotos-en-espana/?v=04c19fa1e772>.
- [2] I. G. Nacional, «Mapa de sismicidad y peligrosidad,» [En línea]. Available: https://www.google.com/search?client=safari&rls=en&ei=gIO4XIT0AqSO5wKajpXI&q=terremotos+en+espa%C3%B1a+placas+&oq=terremotos+en+espa%C3%B1a+placas+&gs_l=psyab.3..33i22i29i30.5757.8771..8915...2.0..0.142.1020.5j5.....0....1..gws-wiz.....0i71j35i39j. [Último acceso: abril 2019].
- [3] M. d. Fomento, «Normativa Antecedentes Sismorresistentes en España,» [En línea]. Available: <https://www.fomento.gob.es/organos-colegiados/comision-permanente-de-normas-sismorresistentes/cpns/normativa>. [Último acceso: abril 2019].
- [4] E. Discoveries, «Difference Between Shear Wall And Column,» febrero 2019. [En línea]. Available: <https://engineeringdiscoveries.com/2019/02/15/difference-between-shear-wall-and-column/>.
- [5] «Espacenet. Patent search,» [En línea]. Available: <https://worldwide.espacenet.com>.
- [6] European Patent Office, «Espacenet. Patent search,» [En línea]. Available: https://worldwide.espacenet.com/classification?locale=en_EP.
- [7] W. D. Lockwood, «Method of strengthening an existing reinforced concrete member,» 13 abril 1999. [En línea]. Available: <https://patentimages.storage.googleapis.com/06/78/08/b9110923d28fed/US5894003.pdf>.
- [8] M. Sugimori, «Method for repairing and reinforcing existing concrete structure and resin,» 14 marzo 2001. [En línea]. Available: <https://patentimages.storage.googleapis.com/0c/c3/e9/333007b5236399/EP1083274A1.pdf>.
- [9] «Seismic retrofit system using FRP panel and construction method thereof,» Julio 2018. [En línea]. Available: <https://patents.google.com/patent/KR101878425B1/en?q=KR101878425B1>.
- [10] «UHPC seismic retrofit structures and construction method thereof,» Febrero 2018. [En línea]. Available: <https://patents.google.com/patent/KR101829424B1/en?q=KR101829424B1>.
- [11] E. discoveries, «Difference Between Shear Wall and Column,» [En línea]. Available: <https://engineeringdiscoveries.com/2019/02/15/difference-between-shear-wall-and-column/>. [Último acceso: 2019].
- [12] C.-C. H. a. H. Li, «High-strength steel reinforced squat UHPFRC shear walls: Cyclic behavior and design implications,» 27 febrero 2017. [En línea].

Available:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0141029616306642>.

- [13] M. Hosseini, «Seismic Behaviour of RC Shear Walls,» agosto 2014. [En línea]. Available: <https://www.comsol.com/multiphysics/response-spectrum-analysis>.
- [14] Ghodoosi, «CIVI 6061: Structural Health Monitoring (SHM)-Lecture 1,» Concordia University, Montreal, 2018.
- [15] F. Orfano, «What is Engineered Cementitious Composite (ECC)?,» Bright Hub Engineering, [En línea]. Available: <https://www.brighthubengineering.com/concrete-technology/48203-engineered-cementitious-composite-ecc/>. [Último acceso: 2019].
- [16] A. c. I. (ACI), «Ultra-High Performance Concrete: An emerging technology Report,» Farmington Hills, MI, 2018.
- [17] C. C. Hung, «High-Strength steel reinforced squat UHPFRC shear walls: Cyclic behavior and design implications,» Science Direct, 2017. [En línea]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0141029616306642>.
- [18] C. C. Noguez, «Seismic Retrofit of Deficient RC shear walls with FRP two sheets,» 2014. [En línea]. Available: <https://datacenterhub.org/resources/11946/download/10NCEE->.
- [19] C. Fournier, M. Daou E. E. scudero «ETABs Simulation» y «Excel», 2019.
- [20] E. Erkmen, «Lecture 8: Response to support motion,» Concordia University, 2019.
- [21] «Computer & Structures, Inc,» [En línea]. Available: <https://www.csiamerica.com/sales/pricing>.
- [22] «Les bfup,» [En línea]. Available: <https://les-bfup.com/prix-betons-fibres-a-ultra-hautes-performances-bfup>. [Último acceso: 2019].

ANEXO A: FICHA TECNICA MATERIAL



UP-FX POLY

UP-FX Poly is an ultra-high performance fiber reinforced-concrete (UHPPFR) developed at Polytechnique Montreal, containing Portland cement, finely graded sand, steel fibers and other carefully selected components. UP-FX Poly is fabricated with a pre-blended, pre-packaged material, liquid admixtures and steel fibers.

FEATURES & BENEFITS

- Ultra-high compressive, tensile, flexural and shear strengths allowing significant reduction of concrete element sections, concrete volumes and reinforcing steel, resulting in a lightweight and slender structural element profile
- Superior impact and abrasion resistant characteristics
- Superior resistance to cracking caused by shrinkage, thermal stresses and other conditions
- Very high energy absorbing capacity (toughness)
- Ultra-compact material with very low porosity and permeability
- Superior resistance to freeze-thaw cycling and salt scaling
- Superior resistance to sulfate attack
- Excellent bond to parent concrete without requiring a bonding agent
- Self-consolidating material with superior wash-out resistance
- Designed with natural normal-density non-reactive fine aggregate to eliminate potential alkali-aggregate reactivity (AAR)
- All KING products are manufactured using ISO 9001:2008 Certified Processes

OPTIONAL FEATURES & BENEFITS

STEEL FIBER CONTENT

UP-F2 Poly contains steel fiber at a dosage of 2% by volume.
UP-F3 Poly contains steel fiber at a dosage of 3% by volume.
UP-F4 Poly contains steel fiber at a dosage of 4% by volume.

See the Technical Data section for more information regarding the influence of the steel fiber dosage on the mechanical properties of UP-FX Poly.

USES

- Precast structural elements such as slabs, parapets, girders and piles
- Construction of field-cast connections and shear pockets for precast concrete bridge decks
- Structural repair and reinforcement of existing elements such as slabs, girders, piles, abutment walls, bridge decks and other concrete structures
- Construction of field-cast vertical and horizontal overlays to extend the service life of new or existing concrete surfaces
- Seismic retrofit of bridge piles

PROCEDURES

Surface Preparation: All surfaces to be in contact with UP-FX Poly must be free of dust, oil, grease, rust or any other foreign substances that may interfere with the bond of the material. For concrete repair applications, remove all delaminated or unsound concrete providing a roughened surface and a minimum of 25 mm (1 inch) clearance behind any corroded reinforcing steel. The perimeter of the repair area should be saw-cut a minimum of 20 mm (3/4 inch). Clean the area to be repaired with potable water, leaving the concrete saturated but free of standing water (SSD).

Mixing: Mixing UP-FX Poly requires a high shear mixer and qualified personnel on-site. Please contact your KING Technical Representative to obtain mixing procedures and technical support on-site.

Placing: Mix, substrate and formwork temperatures should be maintained between 15 °C (59 °F) and 25 °C (86 °F). In cold weather, hot water may be used to increase mix temperature and avoid lengthy set-times. Do not place UP-FX Poly when ambient temperature is below 5 °C (40 °F). Refer to ACI 306, "Guide to Cold Weather Concreting".

In warm weather, ice water may be used as mix water to cool mix temperature and avoid short working time. When ambient temperature is above 30 °C (86 °F), refer to ACI 305, "Guide to Hot Weather Concreting".

Place material according to the instructions provided by your KING Technical Representative.

CURING

Curing is essential to optimize the mechanical properties and durability parameters of UP-FX Poly and to minimize shrinkage. Immediately, after placement, cover surface with plastic sheets or non-absorptive form panels to avoid any evaporation for the first 24 hours followed by a wet cure until the material has reached 7 days of age. The material's surface must be in full contact with the plastics sheets or non-absorptive form panels.

Curing procedures will vary depending on the specific type of application, the project requirements and the curing temperature. Refer to the curing instructions provided by your KING Technical Representative.

TECHNICAL DATA*

The following data is representative of typical values achievable under laboratory conditions. Results in the field may vary.

KING PACKAGED MATERIALS COMPANY

1-800-461-0566 • constructionproducts@kpmindustries.com • www.kingconstructionproducts.com

UP-FX POLY

UP-FX POLY PRODUCTS

	UP-F2 POLY	UP-F3 POLY	UP-F4 POLY
MASS DENSITY ASTM C 39	2350 kg/m ³ (147 lb/ft ³)	2400 kg/m ³ (150 lb/ft ³)	2450 kg/m ³ (153 lb/ft ³)
FLOW ASTM C 1437 (MODIFIED)	215 mm ± 35 mm (8½ inches ± 1¼ inches)		
COMPRESSIVE STRENGTH ASTM C 39			
4 Day	85 MPa (12300 psi)		
28 Day (Design Value)	100 MPa (14500 psi)		
28 Day	120 MPa (17400 psi)		
TENSILE STRENGTH			
28 Day	5.5 MPa (800 psi)	7.0 MPa (1015 psi)	8.5 MPa (1230 psi)
28 Day (Design Value)	8.0 MPa (1160 psi)	9.5 MPa (1380 psi)	11.0 MPa (1595 psi)
MODULUS OF ELASTICITY ASTM C 469			
28 Day (Design Value)	32 GPa (4640 ksi)		
28 Day	37 GPa (5370 ksi)		
FREEZE-THAW RESISTANCE ASTM C 666	98% (Excellent durability factor)		
SALT-SCALING RESISTANCE ASTM C 672			
56 Cycles	0.04 kg/m ² (0.008 lb/ft ²)		
CHLORIDE ION PENETRABILITY ASTM C 1202			
28 Day	90 Coulombs		
90 Day	40 Coulombs		

*The following data was obtained under laboratory conditions with UP-FX Poly premix bags, potable batching water, liquid admixtures and steel fibers conditioned to 21 °C (70 °F). Higher or lower temperatures can respectively accelerate or delay setting time and compressive strength gain.

COMPONENTS

- UP-FX Poly premix
- Steel fibers
- Liquid admixtures
- Potable water

STORAGE AND SHELF LIFE

Components should be stored in a dry, covered area, protected from the elements and from freezing. Unopened bags have a shelf life of 6 months.

SAFETY PROCEDURES

UP-FX Poly contains Portland cement and very thin steel fibers. The steel fibers in UP-FX Poly should be handled carefully to prevent any damage to skin or clothing. Normal safety-wear such as rubber gloves, dust mask and safety glasses used to handle conventional cement based products should be worn. Safety Data Sheets are available upon request.

Warranty: This product is designed to meet the performance specifications outlined in this product data sheet. If the product is used in conditions for which it was not intended, or applied in a manner contrary to the written recommendations contained in the product data sheet, the product may not reach such performance specifications. The foregoing is in lieu of any other warranties, representations or conditions, expressed or implied, including, but not limited to, implied warranties or conditions of merchantable quality or fitness for particular purposes, and those arising by statute or otherwise in law or from a course of dealing or usage of trade. [REV.0005_2458484.5]

KING PACKAGED MATERIALS COMPANY

Oakville Office
555 Michigan Dr., Suite 100
Oakville, ON
L6L 0G4

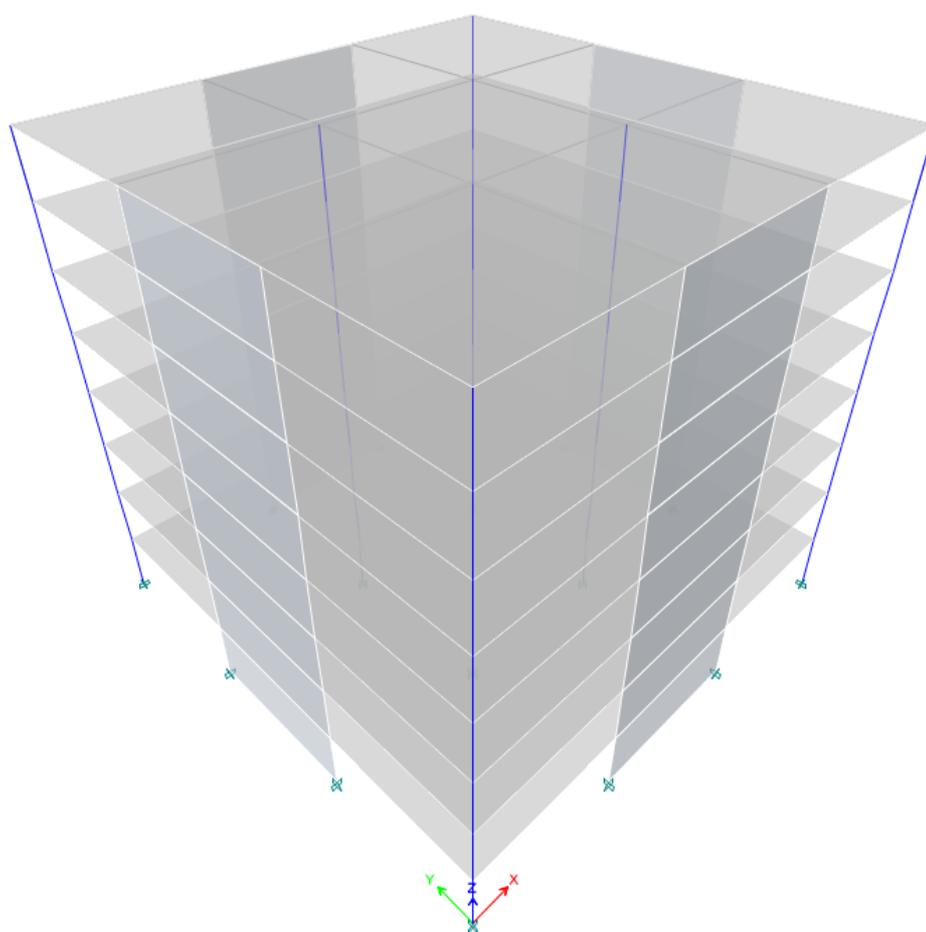
Montreal Office
3825 rue Alfred-Laliberté,
Boisbriand, QC
J7H 1P7

Brantford Office
541 Oak Park Rd.,
Brantford, ON
N3T 5L8

Sudbury Office
644 Simmons Rd.,
Dowling, ON
P0M 1R0

ANEXO B: INFORME RESUMEN

ETABS[®] 2016
Integrated Building Design Software



Summary Report

Model File: ETABS-not run, Revision 0

1 Structure Data

This chapter provides model geometry information, including items such as story levels, point coordinates, and element connectivity.

1.1 Story Data

Table 1.1 - Story Data

Name	Height mm	Elevation mm	Master Story	Similar To	Splice Story
Story8	3000	24000	Yes	None	No
Story7	3000	21000	Yes	None	No
Story6	3000	18000	Yes	None	No
Story5	3000	15000	Yes	None	No
Story4	3000	12000	Yes	None	No
Story3	3000	9000	No	Story4	No
Story2	3000	6000	No	Story4	No
Story1	3000	3000	No	Story4	No
Base	0	0	No	None	No

2 Loads

This chapter provides loading information as applied to the model.

2.1 Load Patterns

Table 2.1 - Load Patterns

Name	Type	Self Weight Multiplier	Auto Load
Dead	Dead	1	
Live	Live	0	
Snow	Snow	0	
EQ	Seismic	0	NBCC 2005
Wind	Wind	0	NBCC 2005

2.2 Functions

2.2.1 Response Spectrum Functions

Table 2.2 - Response Spectrum Function - NBCC 2005

Name	Period sec	Acceleration	Damping	PGA	Sa(0.2)	Sa(0.5)	Sa(1.0)	Sa(2.0)	Site Class	Fa	Fv
RS	0	0.64	5	0.32	0.64	0.31	0.14	0.048	C	1	1
RS	0.2	0.64									
RS	0.5	0.31									
RS	1	0.14									
RS	2	0.048									
RS	4	0.024									
RS	10	0.024									

2.3 Load Cases

Table 2.3 - Load Cases - Summary

Name	Type
Dead	Linear Static
Live	Linear Static
Snow	Linear Static
EQ	Linear Static
Wind	Linear Static
RS-LC	Response Spectrum